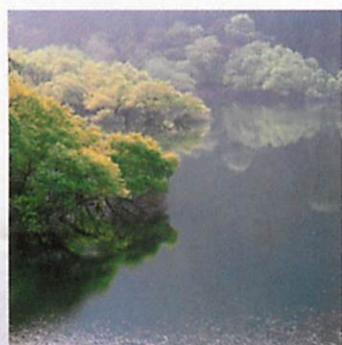


SHIMANTO

四万十・流域圏学会誌

第4巻 第1号

We Love "SHIMANTO"



2004

December



四万十・流域圏学会誌 第4巻 第1号 (2004)

目 次

巻頭言

先人の知恵に学ぶ

橋尾直和 (高知女子大学)1

論文

緑のダムと青の革命

蔵治光一郎 (東京大学大学院)3

多摩中央公園の熱環境特性とその環境経済性

馬淵泰 (高知工科大学大学院)11

解説

WATER RESOURCES ASSESSMENT OF PAKISTAN: PRESENT AND FUTURE

パキスタンの水資源開発管理の現況と将来

Asif Mumtaz (Kochi University of Technology), M. Akram Kahlown (Pakistan Council of Research in Water Resources), Masahiro Murakami (Kochi University of Technology)21

21世紀の緊急課題「水問題」その2:地球環境問題,そして水問題とは何か?

川崎良一 (三祐コンサルタンツ(株))29

21世紀の緊急課題「水問題」その3:水問題に係わる世界の動きと今世界が求められているもの

川崎良一 (三祐コンサルタンツ(株))37

お知らせ

四万十・流域圏学会 第5回総会・学術研究発表会(2005)のご案内49

添付

四万十・流域圏学会会則57 入会申込書63

四万十・流域圏学会役員体制60 「四万十・流域圏学会」投稿要領64

委員会61 「四万十・流域圏学会誌」執筆要領66

会員募集のご案内61 編集後記76

先人の知恵に学ぶ

橋尾 直和*

焼畑を復元して中山間地域を活性化させよう!!—この呼びかけに賛同したメンバーが「焼畑による山おこしの会」を発足させたのは、昨年のものである。地元有志、県外有志、大学教員、環境コンサルタント、NPO、食文化研究者らが一同に集結して、話し合いが行われた。筆者の大学でも、「焼畑の復元による中山間地域・流域圏の活性化事業」（学長特別枠・地域貢献事業費）が予算化された。

そこで、メンバーに焼畑にかける想い、今後の計画・企画を募った。地元の古老からいただいた手紙の内容は、次のようなものであった。

「私ども〇〇（集落）の人にとって、焼畑とは地獄のような話です。最高に恐ろしい危険な思いしかございません。かける想い、今後の計画・企画など、とんでもありません。

50年位前までは、生きるために焼畑に三椏を植えて生活の糧にしてまいりました。40年位前までは、夏山で蕎麦などを作っておりましたが、その当時、後に杉や桧を植え、〇〇（集落）全体で300ヘクタール程あったそうです。それが一本も売れないのです。〇〇（集落）全戸で、子供に後をやらせてなかったのが、せめてもの救いです。（中略）当時40戸位あった戸数も今は10戸です。それでも、3戸は町から帰って来られた方です。どんなに暮らしにくい所かわかります。焼畑全盛の頃ならまだしも、想いも計画も企画もありません。〇〇（集落）全体がそうです。」

自分たちの焼畑にかける想いが強い分、地元民の考えとのギャップが大きいことに気づいた。夢を語る余り、地元民の苦労話、歴史・文化的背景に耳を傾ける努力を怠っていたことを恥じた。まずは、ここから始めるべきであった。

この手紙からひしひしと伝わってくるのは、焼畑に従事されていた方の自然に対する畏怖・畏敬の念である。“復元”そして“活性化”など、生やさしい言葉で片づけてはいけないのだ。焼畑は、先人にとって生きる糧そのものだったのである。“自然に対する畏怖・畏敬の念”—これは、現代人が忘れていく感覚そのものではないだろうか。

近年、焼畑が見直されているのは、環境資源のリサイクルという点である。他国の焼畑が、地球温暖化に拍車をかけているなどと言われたが、はるかに地球環境にやさしいのである。焼畑の心は、自然との対話である。

筆者が着目しているのは、焼畑そのものと農作業で使われる民具である。これは、まさに先人の知恵の結集である。焼畑にまつわる習俗と民具の使用法や方言呼称の記録・保存をし、「焼畑民具資料館」を設置して一般公開する。そこは、誰でも焼畑について知ることができる「学習の場」である。ここに、地元民の先人の知恵が生きてくる。一般の人々に民具を貸し出し、農作業の実践を体験していただく。そんな夢を抱いている。

現代文化は、伝統文化の礎の上に成り立っている。伝統文化を過去のものとして決して蔑んではならない。先人の知恵を学びつつ、活かしつつ、新しい文化を創造し、築いていくのではないか。この「四万十・流域圏学会」が、「先人の知恵」を活かせる学会になっていければと願う。

緑のダムと青の革命

蔵治 光一郎*

Green Dam and Blue Revolution

Koichiro KURAJI*

*The University Forest in Aichi, Graduate School of Agriculture and Life Sciences, The University of Tokyo

Abstract

Our perceptions of what we mean by a catchment have slightly changed recently. Originally "catchment" may have meant just the headwaters where empoundments had been built to capture water for supply, irrigation and hydroelectrically purpose. Now catchments are regarded more as the hydrological units which occupy the whole land surface of the globe. As demands on water increase this has to be the case, for upland headwater catchments can no longer meet our needs. In Japan, the "Green Dam" concept or the expectation for the function of forests on flood and drought mitigation has widely known in the public. Five controversial issues between the government and the opposition group of dam and barrage construction about the functions of forest on flood and drought is discussed in detail. A revolution in the way land and water are managed (the Blue Revolution) is under way.

Key words: catchment, green dam, flood, drought, flow regime, blue revolution

1. はじめに

かつて流域とは、水文学的な流域、すなわち地形学的な分水嶺に囲まれた領域を意味する言葉であった。しかし近年では、全世界的な傾向として、流域という言葉により広い意味で使う傾向にある。たんに降った雨が川に集まる範囲、というだけでなく、地域の土地利用や、資源や人の流れを、流域という単位で考えようという発想が広まってきたためである。この傾向は生態学、地理学といった基礎科学から、社会学、政治学、経済学、歴史学、民俗学といった人文・社会科学の分野にまで及び、特に開発途上地域における開発援助の現場において、「流域管理」という言葉が広く使われるようになってきた。

日本では、流域管理という言葉は、第二次世界大戦以降、各分野でよく使われてきたが、それは流域内の多岐にわたる問題に対して個別に対応するという意味でしかなかった。たとえば林野庁は1990年代に流域管理という言葉を使った施策を打ち出したが、それは森林を流域を単位として管理するだけでなく、農地や水資源などの流域の他の要素との関係までは考慮されていなかった。しかし日本でも最近では、流域という言葉に代わり、流域圏という言葉が使われるようになってきた。これは世界的にみると、流域という言葉の意味の拡張に対応していると考えられる。

有史以来、人はさまざまな思惑をもって流域圏を開発し、利用してきた。流域圏には、水をはじめ、森林、農地、地下資源などのさまざまな資源があり、資源が希少化すると、資源を巡る争いが発生することになった。21世紀は水の世紀になると言われているが、水を巡る争いの多くは、希少化した水資源を巡る上流域圏・下流域

圏間の争いである。たとえばメコン川上流（中国・雲南省）における連続大ダム建設計画に対して、下流の4カ国が抗議する、といった紛争は、水そのものを巡る紛争である。

ところが近年では、水そのものだけでなく、森林伐採や農地開発といった土地利用の変化を巻き込んだ形での紛争が顕在化するようになってきた。例えば北タイ、チェンマイ近郊のメーティア流域では、下流域圏で水を利用している農民が、乾季に自分たちの使う水が足りないのは上流域圏に居住する山岳民族が森林を伐採してキャベツ畑を拡大し、乾季にスプリンクラーで畑に散水しているためだとして、山岳民族の流域圏からの立ち退きを訴えて国道を封鎖する、という事態が1998年に発生している（Kuraji and Kowitz, 2000）。このように21世紀の水を巡る紛争は、水そのものだけでなく、流域圏における他の資源とも複雑に絡み合って発生するものと予想される。

2. 流域圏の森と川を巡る問題

日本では、戦後の社会資本の整備のお陰もあり、開発途上地域のような水に関する深刻な問題を抱えてはいない。また平成9年の河川法改正により、河川整備計画への市民参加が法的に規定され、日本各地の主要河川に流域委員会が設置され、川のあり方を巡って河川管理者、専門家と市民が議論することが普通になってきた。しかしその一方で、川辺川ダム、吉野川可動堰などのように、河川管理者と市民との間で、建設の是非をめぐる激しい対立が起きている事例もたくさんある。これらの事例で共通している論点のひとつは、「緑のダム」という思想、すなわち流域圏の土地利用状態が川の水流れに影

響を及ぼすという思想を、無視するか、重視するかである。無視する側は、森林の面積が変わらない以上、洪水のピーク流出量は変化しないと主張するが、重視する側は、たとえ面積が同じでも、樹種、森林の伐採や植林、人工林の手入れ具合などの森林の質・状態の違いによって洪水のピーク流出量は大きく変わり、森林の状態が良ければ、場合によってはピーク流出量を約 20~30%軽減する機能があると主張しており、両者の主張は完全に平行線であるように見受けられる。両者の主な論点は次のように整理できる。

- ・ 日本の森林面積にはこの 100 年間大きな変化がないかどうか
- ・ 治水計画は、森林の保水機能を前提に計画されているかどうか
- ・ 森林内の地表面の浸透能は降雨強度よりも十分大きいかどうか
- ・ 森林は中小洪水には一定の効果を発揮するものの、治水計画の対象となるような大雨の際には洪水を緩和する機能は無視できるかどうか
- ・ 森林の成長は樹木からの蒸発散量を増加させ、渇水時には河川への流出量をむしろ減少させるかどうか

本論文では、これら 5 つの論点についてそれぞれ論点を整理し、今後の展望について論じることとする。

2.1 日本の森林面積にはこの 100 年間大きな変化がないかどうか

日本の森林面積率はこの 100 年間、65~67%の間を推移し、大きな変化がない。しかしこのことは、日本の森林に 100 年間、変化がないということではない。100 年前の日本の山には荒地やげ山が広く分布していたが、今はそのほとんどが森林に戻った。その一方で、都市近郊の雑木林、里山のかなりの面積が、宅地開発、農地造成、工業団地造成、ゴルフ場建設などで消失した。この「森林の回復」と「森林の消失」がたまたま同時に、同じ程度の面積で起きたため、見かけ上、森林面積が変化していないように見えるだけなのである。また、1950~60 年代に行われた大規模な森林伐採と植林、いわゆる「拡大造林」は、森林から森林への転換なので、森林面積率の統計には現れない。最近の人工林の手入れ不足による荒廃も同様に、この種の統計には表れない森林の質的な変化である。このような事実を踏まえれば、日本の森林は、この 100 年間に空間的にも質的にも、大きく変化していると理解すべきである。

森林面積率に変化がないから緑のダム機能にも変化がない、という主張は、森林の状態や質による緑のダム機能の違いは無視できると主張しているわけだが、少なくとも成熟した森林と、森林伐採直後の植林地を比べた場合は、これまで世界中で行われてきた対照流域法による実験結果でも明瞭に示されているように、少なくとも十数平方キロメートルまでの大きさの流域については、緑のダム機能に差があることは明らかである。

もちろん、日本の森林面積をこれ以上増やす余地が少ないことは事実である。しかし、コンクリートダムの代

わりに「緑のダム」を整備することは、植林をして森林面積を増やすことだ、と考えている人がいるとすれば、それは誤解である。

現時点での問題は、現在の日本の森林の 40%を占める人工林のうち、かなりの面積の森林が荒廃しつつあり、そのことによって緑のダム機能が劣化してきていることである。森林を手入れすることにより、現状の緑のダム機能を強化できる可能性がある。健全な森林と荒廃した人工林の緑のダム機能の違いを科学的・数値的に明らかにするために、科学者の絶え間ない努力が続けられている。

2.2 治水計画は、森林の保水機能を前提に計画されているかどうか

治水計画において、もっとも基本となる数値は基本高水流量である(大熊, 2004)。基本高水を決定することにより、コンクリートダムの必要性、ダムの大きさや高さが決定される。1997 年に改正された河川法およびその施行令によれば、基本高水は河川整備基本方針(旧法では工事実施基本計画)の中で定めることになっており、河川管理者(国土交通省や都道府県)の内部で決められ、市民がその過程を知ることはできない仕組みである。基本高水を決定する計算方法は「建設省河川砂防技術基準(案)」にあるが、この基準は 1976 年に策定された後、2004 年 3 月 30 日の河川局長通達により(案)が取れるまで、最後に(案)がくっついたままであった。このことはじつは非常に重要であり、案であるから必ずしもこの基準には従わなくてもよい、という理屈が長い間、成り立っていた。

長野県松本地方事務所の加藤英郎氏は、長野県の 9 つの河川の基本計画において、「河川砂防技術基準(案)」に規定されている「実測データを用いる方法」をとらずに、経験式によって流出計算のための係数を決めていたことを明らかにしている(東京大学愛知演習林, 2004)。このような、実測データを使っていない方法で係数を決めていた場合は、基本高水の算定に緑のダム機能がまったく考慮されていないことは明らかである。

かりに基本高水を、「河川砂防技術基準(案)」に沿った方法で決めていれば、係数を決めるのに用いた実測データは、その時点での森林の状態を前提として川に流れてきた水の量のデータであり、森林の情報を含んでいるので、緑のダム機能は、係数に織りこみずみということになる。しかし問題は、その実測データがいつの時点での実測データなのか、ということである。その時点が仮に 30 年前だとすれば、30 年前の森林の効果が織りこみずみということになるが、30 年後には森林の状態は著しく変わってしまった。30 年前と現在の森林との「効果の差」は、この方法では織りこみようがない。逆に言えば、計算方法を改良することで、効果の差を織りこみ余地が残されている。

基本高水流量に関しては、森林の機能以外にも、降雨の引き伸ばし率やカバー率などの算定方法に多くの問題点が指摘されており、熊本の川辺川ダムのように住民討論集会、検討委員会などの場で河川管理者と市民が基本高水流量をめぐる真正面から議論をしている現場もある。筆者は、基本高水流量はすべての水系で 10 年

ごとに必ず再計算を行い、そのさいに最新の観測データを組み入れ、用いる方法（モデル）も最新でシンプルなものとし、計算の過程を公開することを提案したい。実際の河川整備基本方針の策定において、このような手順を踏むことは、計画が科学的なものである以上、当たり前のことのように思われるが、現状はどうもそのようにはなっていないようである。

2.3 森林内の地表面の浸透能は降雨強度よりも十分大きいだろうか

元静岡大学教授の村井宏氏らが今から 30 年ほど前の 1975 年に発表した論文では、森林土壌の浸透能は 211～272 ミリ/時であり、これは日本の観測史上最大の一時間降雨強度（1982 年長崎豪雨時の 187 ミリ/時）を上回っている。よって森林でさえあれば、どんなに大雨が降っても、その水はすべて一度、地中にしみこむという説明がなされることがある。しかし、測定自体が森林土壌をかく乱してしまう以上、このような方法で測定されているのはあくまで相対的な浸透能であり、現実の浸透能が測定できているとはいえない。森林内の土壌は不均一であり、測定された浸透能が高くても、実際には 30 ミリ/時程度の雨で地表流が観察されることがある。このことは、例えば 1975 年の論文で村井先生自身が以下のような記述をされていることからもうかがえる。

「土地の浸透能以下の強度の降雨では、全部地中に吸収されて地表流下が生じないことになる。しかし、実際には浸透能よりはるかに低いと考えられる降雨強度でも、斜面の一部から水みちを形成して流下が生じることが一般に見られる」（林業試験場研究報告第 274 号、26 頁）

「地表流下は、区画内の浸透能を越えない降雨強度でも起こり得るし、また、降雨強度の増大に伴い浸透レートはほぼ直線的に増大する」（同、76 頁）

村井先生が 30 年前に浸透能を測定した当時は、手入れ不足の人工林は今ほど存在しなかったが、その後 30 年間の林業の低迷により、手入れ不足の人工林が日本中に見られるようになった。手入れ不足の人工林は中が真っ暗で、下草が生えず、土壌の表面がむき出しになり、雨滴の衝撃で侵食されたり、大雨時に水がしみこまずに、地表を流れる。このことについては、多くの観察事例があり、学会でも広く認められつつある。30 年前と現在では、学問の世界の常識も大きく変化しているが、そのような変化は日本学術会議の答申「地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について」（日本学術会議、2001）には必ずしも反映されていない。

2.4 森林は中小洪水には一定の効果を発揮するものの、治水計画の対象となるような大雨の際には洪水を緩和する機能は無視できるかどうか

いくら山の貯水容量が大きくても、山が飽和してしまえば、あとは水があふれるだけで、雨の 100% が川に出てくるので、大洪水の際には森林の有無は関係ない、という主張がある。しかしこのような説明は正しいとはいえない。その理由は以下のとおりである。

たとえば、100 年に一度の確率で起きる雨量が 450 ミリ、森林の最大貯水量が 200 ミリ、森林でない場所の最大貯水量が 150 ミリだったとしよう。雨が 200 ミリを超えれば森林の斜面は飽和し、そののちに降ってくる雨（250 ミリ）はほぼ全部が川へ流出するであろう。しかしもし森林でなければ、森林よりも少ない水量で飽和してしまい、残りの 300 ミリが川へ出てくることになる。同じ 100 年に一度の大雨でも、川へ出てくる水量が 300 ミリなのか 250 ミリなのかという差が生じる。洪水の規模を考えた場合、この 50 ミリの差はきわめて大きい。

また、水量だけではなく、飽和するまでにかかる時間にも差が生じる。森林の方が貯水容量が大きいので、満水になるまでに時間がかかり、その分、洪水の発生が遅れ、ピーク流出量を下げる効果をもたらす。

さらに、斜面が飽和した後も、斜面における飽和した地中の水の流れにおいて、森林土壌は他の土壌よりゆっくりと水を流すので、洪水の到達を遅らせ、ピーク流出量の軽減に寄与する。また、これらとは独立した森林の機能として、「水を消費する機能」があり、大雨前に水をより多く消費してしまうため、大雨をその分だけ多く貯水できることになるので、これも洪水の軽減につながる。

以上のように、森林は洪水に対して四重五重の軽減作用をもっており、それらが総合的に作用する結果、相当な大雨の場合でも、森林が洪水の軽減に一定の効果を発揮する可能性が高いので、「中小洪水には効果があるが、大洪水には効果は無視できる」と決め付けるのは早計ではないかと考える。問題は、現時点での科学のレベルでは、森林が大洪水の軽減にどの程度の効果があるのかを、数値的に決定するのが難しいというところにある。

最近、ダムや可動堰建設の是非を巡る議論のなかで、過去の洪水は、最近の洪水に比べて規模が大きかったのではないかと、それは、かつて森林が伐採され、荒れていたためではないか、という疑問が出されている。1940 代後半の首都圏では、立て続けに台風が襲来し、利根川に大きな洪水が頻発したのは有名である。当時、森林が荒れていたことは、多くの人が認識しており、その事実は航空写真でも裏付けられている。したがって、多くの人が、過去の洪水の規模が大きかったのは森林が荒廃していたためであり、植林が完了して立派な森林になれば、その分、洪水の規模は小さくなるはずだ、というように推測しても不思議ではない。

しかし、科学的には、この推測が正しいか正しくないか、証明するのは容易でない。なぜならば、洪水をもたらす大雨は不規則性の強い確率的な現象であり、過去の洪水は、たまたまその期間に大きな台風が来たり、豪雨があったから起きたのであり、最近はたまたまそのような台風や豪雨の襲来がないため、洪水が起きていないのだ、という可能性があるからである。

例として Fig.1 に東京大学愛知演習林白坂流域における 71 年間の最大日流出量の変化を示した。流域内には人の手はまったく加えられておらず、1930 年から 2000 年にかけて森林は少しずつ成長している。1945 年から 65 年にかけては比較的、大規模な出水が発生しているのに対し、1975 年以降は大きな出水が発生していない。大規模な出水は、極めて不規則に襲来する大雨に大きく左右される現象であることを、この結果は示している。

なお、2000年の東海豪雨は雨量としては観測史上最大であったが、最大日流出量は約120ミリであり、これは観測史上第4位でしかない。東海豪雨の前は少雨であったため、流域が乾燥していたことが、その原因として考えられる。

吉野川流域ビジョン21委員会(2004)は、この困難な問題に対し、数値モデルを使って洪水時の流出をシミュレーションすることによって、洪水をもたらす諸要因から雨の降り方の違いによる部分を分離し、土地利用の変化の影響だけを抽出しようと試みている。具体的には、以下のような方法である。

- ・ 過去の一洪水を対象としてシミュレーションを行い、係数を求め、その係数をそのまま使って最近の洪水を引き起こした降水量を入力し、計算された洪水流出と実際に観測された洪水を比較する。
- ・ 昔から今にいたるまで、複数の洪水に対してそれぞれ数値モデルによるシミュレーションを行い、それぞれの洪水に対して別々の係数を決め、係数がどのように変化しているか、実際の森林の変化と対応しているかどうかを調べる。

この方法に限界があるとすれば、それは、森林の変化と係数の変化に相関関係があったからといって、それが即、因果関係があるということにはならないということである。単位関法、貯留関数法、タンクモデルのような数値モデルでは、係数は純粋に数学的な値であって、物理的な意味はなく、現実の森林などで観測されている値と関連付けることは不可能に近い。因果関係がある可能性を示唆することはできるが、森林の状態と洪水ピークとの因果関係が科学的に証明できたとは、残念ながらいえない。なお最近の数値モデルでは、その係数に透水係数、空隙率、表層土壌厚などのもっともらしい名前がつけられている場合、まるでこれらの係数が実際に現場で測定される値なのではないかと錯覚することがあるが、じつはこれらの係数もすべて数学的に求められる仮想的な数値に過ぎず、現場で測定される値と関連づけることはきわめて困難であることに変わりはないことに十分注意すべきである。

係数の変化をもたらした原因は、森林の状態以外にもいろいろ考える。かりにほぼ同じ雨量の雨が同じような降り方で降ったとしても、その雨の降る前に流域がどれだけ乾燥していたのかによって、洪水の規模は異なってくる。また、上流で河川改修やダム建設が行われると、洪水は制御され、変化する。係数の違いとは、このような多岐にわたる「二つの洪水の個性の違い」が総合的に反映された結果、出てくるものなのである。山ほどある洪水の個性の違いの中には、森林の状態の違いも含まれてはいるが、それはあくまで、その他多くの個性の違いのうちの一つでしかなく、係数の違いがすべて、森林状態の違いによるものだとは結論づけることには無理がある。

このような問題を乗り越えるには、できるだけたくさんの洪水に対してシミュレーションを行い、長期間における係数の変化を時系列的にとらえて、そこから得られる情報を調べる方法、洪水時だけでなく通年、それも10年間くらいの長期連続シミュレーションを行って、

雨の降る前の流域の乾燥の度合いの影響をなくした係数を得る方法などが考えられるが、これらの試みは、まだほとんど行われていないのが現状である。何よりも、このような方法を試みるには、長期間の正確なデータが必要であるが、そのようなデータは現状では公開されていないケースも多い。

科学はつねに進歩しており、科学者は、時間の経過とともにデータを蓄積し続け、最新の方法を駆使し、いずれ確実にこの問題に対してより正確な答えを出すであろう。しかし現実には基本高水の妥当性やダムや可動堰の建設の是非が問われているような現場では、10年かかるか20年かかるかわからない科学の進歩を待ってはいられない。このような現場では、科学の進歩を待ってられない問題に対して、どのように結論を出すのが求められている。現代社会では、これを中央政府が独裁的に決着させたり、多数決で政治的に決着させるのではなく、多くの人々が納得するような結論の出し方が望まれている。

筆者は、現段階では、森林の質の変化は、河川計画の対象となるような大洪水であっても、その規模に無視できない影響を及ぼすと見ている。しかし、その影響がピーク流出量を30%程度押し下げるほど大きいのかどうかは、現状の科学のレベルでは必ずしも断定できないのではないかと見ている。

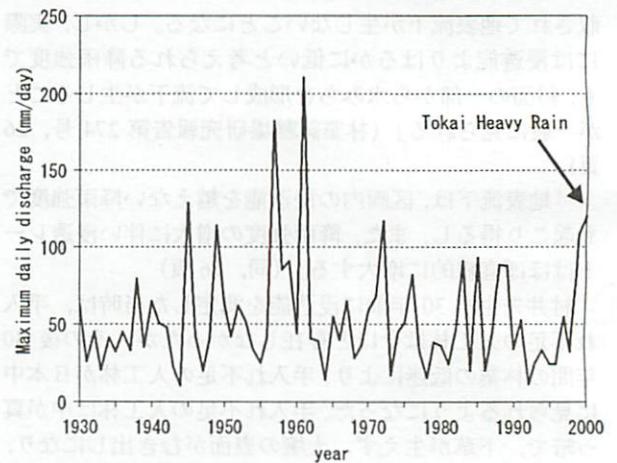


Fig.1 Maximum daily discharge in a year in Shirasaka Experimental Watershed, Univeristy Forest in Aichi for 71 years.

2.5 森林の成長は樹木からの蒸発散量を増加させ、渇水時には河川への流出量をむしろ減少させるかどうか

森林には、「水をゆっくり流す機能」と同時に、「水を消費する機能」が備わっている。森林が渇水に及ぼす影響については、「ゆっくり流す機能」がプラスに作用する一方で、「水を消費する機能」がマイナスに作用するため、そのどちらが強くなるかで、渇水を緩和する場合、影響がない場合、渇水を激化させる場合の三通りのいずれになるかが決まる。これまで世界中で行われた、森林と渇水の関係調べた研究では、森林が渇水を緩和した事例は皆無に近く、ほとんどの事例が、渇水が激化するか、または、影響がない、という結果であった。多くの方は、森林が渇水を緩和してくれるというイメージ

を持っていると思われるが、科学的な調査の結果は、そのようなイメージとは異なるものである。一方で、森林や山地溪流のことをよく知っている地元の人は、拡大造林により流域の森林が広葉樹林からスギ林になってから、多くの谷に水がなくなったという事実を認識しているが、これはスギ林が広葉樹林よりも蒸発散による水の消費量が多いため、以前より湧水が激化するようになったことの表れだと考えられる。

日本では、もっとも古くから観測を続けている試験地の一つ、東京大学愛知演習林での最新の研究で「影響がない」という結論が得られている(蔵治・芝野, 2002)。しかし同じ愛知演習林のデータを使って、誤った解釈を行い、結果として「湧水が激化する」という間違っただ結論を導いている例があるので、ここに紹介しておく。

東京大学愛知演習林は、大学演習林に設けられた試験流域のなかでもっとも長い継続観測を行っている演習林である。試験流域は白坂、東山、穴の宮の三試験流域であり、面積はそれぞれ 88, 106, 14 ヘクタールである。これらの流域の森林は陶器を焼くための薪として、室町時代から過剰に伐採され、ほとんどハゲ山と化していたが、明治末期から荒廃地回復砂防造林が行われ、徐々に森林が回復し現在にいたっている。伐採処理は行われておらず、森林の成長に伴う変化を単独流域法により検出することが研究の主な目的である。

愛知演習林における森林の成長と湧水に関する最新の研究では、白坂流域、東山流域の湧水時流出量を、夏と冬にわけて抽出し、71 年間の変化を調べた。その結果、1930 年代の湧水時流出量は夏、冬ともに 0.7 ~ 0.8 ミリ/日程度であったのが、その後夏は増加、冬は減少し、1980 年代には夏は約 1.0 ミリ/日、冬は約 0.5 ミリ/日になっていた。解析を進めた結果、1930 年代に比べて、1980 年代の湧水時流出量が少ないという結果は、この 60 年間に冬の降水量が顕著に減少したために、冬の湧水時流出量が減少したことに起因するものであり、森林の増加によって減少したとはいえないことがわかった。この 60 年間の降水量(年降水量ではなく、夏、冬それぞれ別々に求められた、湧水時流出量と最もよく対応し、湧水の指標となる降水量)の変動は、湧水時流出量の変化と見事に対応していた。また、1990 年代の 10 年間のデータを検討すると、1980 年代の 10 年間と比較して、これまでの 60 年間の変化とは逆に、夏は減少し、冬は増加していることもわかった(蔵治・芝野, 2002)。

国土交通省河川局のホームページ(オピニオン「緑のダム」が整備されればダムは不要か)では、「森林の増加は樹木からの蒸発散量を増加させ、むしろ、湧水時には河川への流出量を減少させることが観測されている」事例として、愛知演習林のデータにもとづき、1930 年代の平均湧水流出量と 1980 年代のそれを比較して、1980 年代の方が少なかったことが図とともに示されている。Fig.2 の上図は国土交通省のホームページに掲載されている図(愛知演習林オリジナルのデータを用いて作成し直したもの)であり、1930 年代と 1980 年代を比べて、湧水流量(355 日流出量)が減少したと説明されている。しかし湧水時流出量を夏と冬に分けて調べると、冬が減少傾向にある一方で、夏は増加傾向にあるという事実が判明した。森林の変化により湧水時流出量が減少

したのであれば、湧水時流出量は夏も冬も同じように減少するはずであるあり、森林の増加によって湧水時流出量が減少しているという国土交通省の解釈では、なぜ夏に増加傾向を示すのか、説明できない。また、1990 年代にも森林は増加し続けているにもかかわらず、冬の湧水時流出量は 1980 年代と比べて増加に転じている。Fig.2 の下図は、同じ場所のデータを用い、1940 年代と 1990 年代を比べたもので、湧水流量は 1990 年代の方が逆に高くなっている。この変化は、森林の増加によって湧水時流出量が減少しているという国土交通省の解釈では、やはり説明できない。1980 年代はたまたま、少雨の冬が続いた期間であったが、1990 年代に入って小雨は解消しており、冬の湧水時流出量の増加傾向と対応している。

この最新の研究成果(蔵治・芝野, 2002)が発表された後も、国土交通省はデータの誤った解釈に基づく間違っただ情報を、現在に至るまでホームページに掲載し続けている。

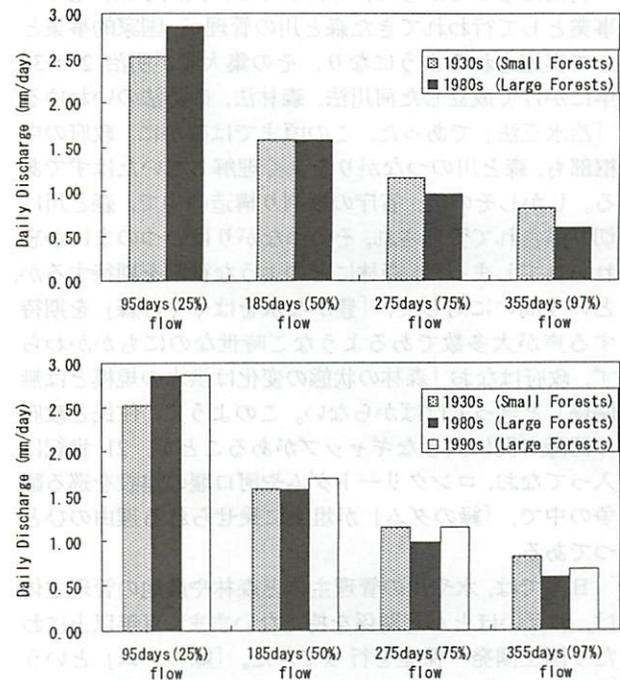


Fig.2 Flow regime of Shirasaka Experimental Watershed, University Forests in Aichi in 1930s (the forests was poor), 1980s and 1990s (the forests became rich).

森林流域からの湧水時流出量の年々変動は、降水量、それも年降水量でなく湧水発生前数ヶ月間の年々変動によって決まっており、年々の降水量の違いを無視して 60 年間のデータから森林成長前と成長後、それぞれ 10 年間の平均値を取り出して比較し、森林の成長が湧水時流出量に及ぼす影響を論じることはできない。愛知演習林においては、水収支から計算された年蒸発散量にも、顕著な増加あるいは減少の傾向は検出されていない。森林の成長の影響は、それがプラスの方向であろうとマイナスの方向であろうと、それほど大きいものではなかったことを、愛知演習林の 72 年間の観測結果は示している。これは、愛知演習林の森林がはげ山同然の状態から徐々に回復してきているため、72 年間を経た今でも、依然として土壌が貧弱であり、森林地上部も水流出量や

蒸発散量に影響を及ぼすほどには巨大化していないということを意味しているようであるが、より詳しくは、今後の研究に待つところが大きい。

3. 緑のダム思想の歴史と将来展望

「緑のダム」という言葉は1970年代から使い始められた言葉であるが（例えば日本林業同友会，1975）、「緑のダム」という言葉に象徴される思想の歴史は、それよりはるか前、江戸時代中期にさかのぼることができる。この時期、儒学の復興にともない、熊沢蕃山らにより、治山治水思想や森林の機能論に対して、神格化とまで思われるほどの高揚がみられ、農民や一般大衆の間にも強く浸透したことが知られている（山口，1985）。幕府も、荒廃の一途をたどる森林を見かねて、「国を治めるには水を治めよ，水を治めるにはまず山を治めよ」という思想のもと、山川掟を発し、山と河川の取り扱いに対してかなり強い規制を打ち出していた（山口，1987）。

明治になってからは、それまで主に民間事業、地方の事業として行われてきた森と川の管理が、国家的事業として実施されるようになり、その集大成が明治29～30年にかけて成立した河川法、森林法、砂防法のいわゆる「治水三法」であった。この頃までは確かに、政府の中核部も、森と川のつながりをよく理解していたはずである。しかしその後、省庁の縦割り構造の中で、森と川は切り離されて管理され、そのつながりはいつのまにか忘れられてしまった。森林にどのような役割を期待するか、という問いに対して、「豊かな水をはぐくむ森」を期待する声が大多数であるようなご時世なのにもかかわらず、政府はなお「森林の状態の変化は洪水の規模とは無関係」と言ってはばからない。このように、住民と政府の認識の間に大きなギャップがあることが、21世紀に入ってなお、コンクリートダムや河口堰の建設を巡る論争の中で、「緑のダム」が俎上に乗せられる理由のひとつである。

日本では、水や川の管理主体と森林や農地の管理主体は、お互いほとんど関係を持たないまま、百年以上にわたり国土開発・保全を行ってきた。「緑のダム」という思想は、森林の機能論を超えて、この縦割り構造を根底から覆す力を持った思想であり、この思想を過去100年間無視し続け、河川管理に尽力してきた国土交通省や都道府県の担当部局が、この思想に拒絶反応を示すのは、やむを得ないことなのだろうと思う。その拒絶反応自体は、約50年前に筑後川上流で起きた有名なダム反対運動に対する当時の建設省の反応と何ら変わっていない（松下，2000）。しかし遠く明治以前を顧みれば、山を治めるものは川をも治める、という治山治水思想が日本の国土保全の根幹をなす哲学であったことは、言うまでもない。「緑のダム」をめぐる議論では、今すでにあるダムは前提としつつも、今後、100年以上前の原点に戻るのかどうか、ということが問われているのである。

4. アカデミズムのあり方を問う

「緑のダム」という言葉にこめられた哲学を現実のものとするために、河川・土地利用管理の革命的な改革が求められている。それぞれの流域には個別の事情があり、

現場から離れている国よりも現場に密着している地方の意識は高いことが多いので、このような革命・改革は、地方のそれぞれの流域において順次、実行に移されていくと考えられる。このような過程においてアカデミズムに期待される役割は大きい。緑のダムに関連する諸現象は、気候や地質条件や森林タイプなどに左右される、地域性の強い現象であり、これまでのアカデミズムが得意とする包括的、抽象的な議論になじまない。対象となる流域をひとつひとつ個別に調べる際には、これまで学術が蓄積してきた成果を踏まえ、そのうえに過去の洪水痕跡や、昔の大洪水や森林の状態を知っている長老の話など地域に蓄積された情報を重ね合わせて行うことができると考えられるが、そのような研究はほとんどなされていない。これまでの緑のダムの専門家は、「学者の世界で評価される研究」に重点を置きあまり、「学問のための学問」に傾倒し、実社会の要請に正面から応えることに必ずしも重点を置いてこなかった。アカデミズムの世界においてもやはり革命的な改革（たとえばこれまで個別の学問分野において蓄積してきた知的財産を、現場を中心とした軸で再編成する努力など）が必要とされている。

5. 流域圏に革命を

「青の革命」という言葉がある。「水資源と人とのかわりにおける、土木技術を中心とする河川中心主義の水資源管理から、流域圏環境と調和した統合的流域圏・水資源管理への（革命的な）変化」を意味しており、「緑の革命」になぞらえて1996年にヨーロッパで提唱された。日本では「青の革命」という言葉はほとんど使われていないが、すでに流域圏学会を設立している四万十川や同様の学会を立ち上げようとしている球磨川、「矢作川研究所」を設立した矢作川、一部の都市近郊の河川などでは、「流域圏革命」的の改革が起きつつある状況とみることでもできよう。

そこで筆者らは、2003年度より、日本学術振興会の人文・社会科学振興プロジェクトのコア研究として、「青の革命と水のガバナンス」研究グループを立ち上げ、日本や世界の水や土地の管理とガバナンスについての事例調査を行い、「流域圏革命」を実現する諸条件を研究しようとしている。また、実際に革命を起こすことをめざして、球磨川流域圏学会の立ち上げにも積極的にかかわろうとしている。

森や川の管理をめぐる、これまでの定説や方法は、国内においても海外においても、もはや通用しなくなってきた。森と川をつなぐ緑のダムを旗印に、河川整備基本方針の定め方やアカデミズムのあり方の革命的な転換を求める動きは、今後ますます活発化していくであろう。

謝辞

本原稿をまとめるにあたり、ジャーナリストの保屋野初子氏に助言をいただいた。ここに記して感謝いたします。

引用文献

- Kuraji K and Kowit P (2000) Hydro-meteorological research and its application to watershed management for solving local conflict over water in Mae Tia watershed, Northern Thailand. Proceedings of the Fresh Perspectives on Hydrology and Water Resources in Southeast Asia and the Pacific, Christchurch, New Zealand, pp.189-196
- 松下竜一 (2000) その仕事 砦に拠る, 427pp., 河出書房新社
- 山口伊佐夫 (1987) 災害と山の管理, 地球社
- 山口伊佐夫 (1985) 現代林学講義4 砂防工学, 地球
- 東京大学愛知演習林 (2004) 「緑のダム研究の現状と将来展望」シンポジウム講演集
- 日本学術会議 (2001) 地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的機能の評価について (答申)
- 日本林業同友会 (1975) 水資源の確保に「緑のダム」作戦, 林業同友, 224, 18-20.
- 蔵治光一郎・芝野博文 (2002) 森林の成長が洪水時流出量に及ぼす影響—東京大学愛知演習林森林試験流域の例—, 第六回水資源に関するシンポジウム論文集, pp.615-620.
- 村井宏・岩崎勇作 (1975) 林地の水および土壌保全機能に関する研究 (第一報) —森林状態の差異が地表流下, 浸透および侵食に及ぼす影響—, 林業試験場研究報告, 274, 23-84.
- 吉野川流域ビジョン21委員会 (2004) 吉野川可動堰計画に代わる第十堰保全事業案と森林整備事業の研究成果報告書, 231pp.

多摩中央公園の熱環境特性とその環境経済性

馬淵 泰*

Heat Environmental Characteristic and Environmental Economies of the Tama Central Park in Tokyo

Yasushi MABUCHI*

* Kochi University of Technology, 185 Miyanokuchi Tosayamada-cho Kami-gun Kochi, 782-8502, Japan

Abstract

The cool island effect of the green spaces in the urban area has become major concern to mitigate the heat island problems in the urban environmental management. The objective of this study is to evaluate the cool island effect in the urban green spaces using geographical information system (GIS), remote sensing technology and heat balance model. A series of field measurements has been carried out in August 1994 in the Tama Central Park which is located in the western suburbs of Tokyo metropolitan. The park was opened in middle of 1980's with different type land covers including forest, grassland, shallow lake, bare land, concrete and asphalt. The latent heat flux of the forest, grassland and shallow lake is estimated to be 500Wm^{-2} , 400Wm^{-2} and 200Wm^{-2} respectively. The cool island effect of the forest is the more intensive among others. Environmental economics of the cool island effect is evaluated to apply the environment surrogates method by converting the primary energy of latent heat to carbon dioxide (CO_2 Tax). As a result, the economic benefit of the transpiration effect in the Tama Central Park is estimated to be 20.9 thousand yen per hour. According to the model analysis on the cool island effect of the Tama Central Park, the latent flux is forecasted to increase by steps amounting to 17.8% more in 2015.

Key words: Urban green spaces, Cool Island effect, Heat Balance, Environmental economic cost

1. はじめに

近年、都市の温暖化（ヒートアイランド）現象が社会問題化しつつある。過去100年間の地球と都市の温暖化の度合いを比較すると、地球温暖化は1世紀に 0.7°C ¹⁾であるのに対し、世界の大都市東京では 3.0°C ²⁾である。すなわち、大都市の温暖化のスピードは地球規模の熱環境変化に比し4倍程度大きく、早急な対策が必要である。

ヒートアイランド現象は、都市及びその周辺の地上気温分布において、等温線が都心部を中心として島状に市街地を取り巻いている状態のことを指し、都市化による人工排熱量の増加や緑地や水面の減少、人工物・舗装面の増加により増幅される。ヒートアイランド対策としては、施設の省エネルギーや自然エネルギーの活用、緑化や水辺空間の設置、都市構造の改変などが提案されているが、その中で公園に代表される都市緑地の整備は、持続性のある対策であり、景観や心理的影響等の面からも有効な対策として位置づけられる。

都市緑地は、緑地を構成する樹木や水面が蒸発散する際に周辺の空気から熱を奪い気温を低下させるクールアイランド効果により周辺気候を緩和させている。地球温暖化への関心が高まる中で、我々の身近な緑地が持つ気候緩和効果への期待が高まっており、クールアイランド

効果を最大限に発揮する都市緑地のあり方を検討することが課題となっている。この課題を解決するためには、都市緑地のクールアイランド効果を明確にし、その効果が人間の生活サイクルでどのように推移するかを予測した上で、その効果を後世に引き継ぐために必要な管理運営コストが環境的な価値と比較して妥当性を持つかどうか示す必要がある。

このような観点から既往文献を整理すると、都市緑地の熱環境に関する研究は、森林や樹木の熱環境緩和の効果計測と森林の配置による熱環境の変化予測に分けることができる。森林や樹木の熱環境緩和効果の評価に関する事例では、街路樹や森林の単木レベルでの気温低減効果を調査した事例や都市全体の気温分布と緑地の量との関連性を検討した研究などが見られる^{3)~5)}。また、熱環境予測に関しては、土地利用の配置による熱環境変化のシミュレーションによる検討結果⁶⁾がある。さらに、熱環境の予測に関しては、尹ほか(2002)によるメトロマニラを対象とした熱環境の現状と予測に関する一連の研究⁷⁾など、都市緑地を含む都市全体を対象とした熱環境の現状の定量化や将来予測に関する研究事例は比較的多いことがわかる。しかし、樹木は年々生長しクールアイラ

* 高知工科大学大学院 〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮の口185

ンド効果も向上すると考えられるが、この生長による効果の増加を考慮した検討事例は極めて少ない。また、クールアイランド効果の直接的な主要素である樹木、草、水面からの蒸発量を熱環境エネルギーと経済的な貨幣価値に換算して評価した事例研究は過去の主要論文には見出せていない。よって都市緑地のクールアイランド効果を評価するためには、既往研究の成果を踏まえつつ、一連の都市熱環境の定量化から予測そして環境経済評価までの流れを整理して都市熱環境研究の目的と目標をロジカルに明確化する必要がある。

そこで、本論では、東京都多摩市の多摩中央公園を対象地と設定し、都市計画 GIS、リモートセンシング、現地気象観測のツールを用いて、都市緑地のクールアイランド効果の定量化から予測、効果の評価まで一連の流れを提示することを目的とした。具体的には、都市緑地を構成するパーツのうち“樹林地”、“芝”、“浅い水面”のクールアイランド効果を定量化した。また、樹木は年々生長しクールアイランド効果も向上するものと考えられる。そこで、リモートセンシングで計測できる植生指標を用いて樹木の生長に伴うクールアイランドの増加効果をモデル化し、都市緑地のクールアイランド効果の推移について試行的に実施した。さらに、樹木、草、水面のクールアイランド効果を蒸発散の観点から経済的な貨幣価値に換算して評価する。

2 解析方法

2.1 解析の考え方

都市緑地のクールアイランド効果を検証することを目的として、東京都多摩市に位置する典型的な都市緑地である多摩中央公園を対象地と設定し、樹林地や芝地、水面を対象に熱環境調査を実施した。検討手順は、はじめに、多摩中央公園の熱環境の現状の把握および熱環境予測モデル構築のための基礎情報の取得を目的として、多摩中央公園を対象に 24 時間連続した熱環境調査を実施し、都市緑地のクールアイランド効果の現状を把握した。次に、高解像度の航空機 MSS を用いて樹木の生長モデルを構築し、多摩中央公園の熱環境の推移を試算した。最後に、熱環境の観点から見た環境経済性を評価した。

2.2 調査対象地の概要

多摩中央公園は、多摩ニュータウンの商業の中心地である京王・小田急多摩センター駅に隣接した約 10ha の典型的な多目的公園である。敷地内には広大な芝生の広場や植物園、日本庭園が配置されているとともに、公園中央部に深さ 50cm 程度の浅く対流性のない池が存在し、パルテノン神殿のようなコンクリート構造物が比較的多い。本公園は、遊具類が無く、地域住民の憩いとコミュニケーション促進としての機能を併せ持つ都市緑地として位置づけられている(図 1)。多摩中央公園の被覆構成は表 1 のとおりである。表に示すように、公園の約 86% は樹林地や芝地、水面など都市気候を緩和する被覆により覆われている。



図 1 多摩中央公園 (航空写真)

表 1 多摩中央公園の被覆構成

土地利用	土地利用面積 (ha)
樹林地	5.88
芝地	1.90
浅い水面	0.75
裸地	0.04
コンクリート・アスファルト	1.43
合計	10.00

2.3 熱環境調査の概要

熱環境調査は、都市緑地のクールアイランド効果を評価する目的から、夏期の晴天日を選んで実施した。気象観測は 1994 年 8 月 26 日 (金) 23:00 から開始し、28 日 (日) 3:00 で終了した。27 日の日平均気温は 27.2°C、平均風速 3.0m であった。定点観測は、多摩中央公園内の芝地の中心部と樹林地内および福武書店屋上 (観測高度 113.6m) にて行った。また、移動観測は、公園内 (池の周囲と公園周辺)・街中 (歩道と周辺一般道路)・周辺の市街地 (車による移動観測) の 5 種類行った。地点毎の観測項目を表 2 に示す。芝地の定点観測では、気温と相対湿度については地表面付近 (0.1m) と高度 1.5m の 2 高度にて、地温も -0.05m と -0.10m の 2 深度にて毎時の測定を行った。なお、現地調査に併せて、多摩中央公園の北西部に位置する交通公社の駐車場より、24 時間熱赤外画像を 30 分間隔で撮影した。

表 2 観測地点ごとの観測項目一覧

観測点	気温	湿度	風向 風速	地表面 温度	長波 放射	日射	7M ^μ	水温	サーモ フロー	地温
周辺の市街地 (車の移動観測)	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—
公園内 (公園周辺)	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—
街中 (周辺一般道路)	○	○	—	○	—	—	—	—	○	—
街中 (歩道)	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—
福武書店屋上	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—
駐車場	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—
樹林地	○	○	—	○	—	—	—	—	—	—
芝地	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○

現地気象観測の結果、全天日射量は 6 時から正の値を示し、12 時に最大値 781Wm⁻²を示した。同じく正味放射量は最大値出現時刻 12 時で 616Wm⁻²であった。長波放射量の日変化はほとんどなく、昼夜ともに 400Wm⁻²程度であった。地表面付近の気温は、全天日射量の増加とともに増加・減少しており、最大値は 12 時の 35.1°Cであった。また、1 時間遅れて高度 1.5m の気温が最大値とな

り 32.4℃を記録した。この時間のずれは、太陽放射エネルギーがまず地表を暖め、その一部が大気や地面を暖めるのに費やされるために起きるもので、地温についても同様の現象が認められた。深度-0.05mの地温は 15:00 に最大値 30.2℃となり、深度-0.1mの地温はさらに 2 時間遅れで最大値 28.5℃を記録している。地表からの熱の移動は、風による大気の乱流によって行われる。芝地における風向・風速の日変化をみると全天日射量の増加とともに、風速は増加し、それに伴って地表付近の気温および高度 1.5m の気温の上昇が認められる。日中の最多風向は南西で、8 月 27 日の最高風速は 7.3m であった。

3. 都市緑地の熱環境評価

1994 年 8 月 27 日に行った現地気象データをもとに、土地利用別熱収支の評価を行った結果について述べる。

3.1 土地利用別の熱収支の推定

地表が吸収する太陽エネルギー（正味放射量：Rn）は、地表から大気を暖めるのに使われるエネルギー（顕熱輸送量：H）と水の蒸発散に消費されるエネルギー（潜熱輸送量：IE）、そして地表から地中に入るエネルギー（地中伝導熱：G）に分配される。G は地中熱流量（貯熱量）ともいい、地中温度（浅い水面の場合は水面）を上昇させるエネルギーである。これに、周辺空気塊からの風による移流（Q）を考慮するならば、地表熱収支は次の式で表される⁸⁾。

$$R_n = H + IE + G \pm Q \quad \dots (1)$$

また、地表が太陽から吸収する正味放射量は、地表の土地利用状況すなわち、地表の物理特性によって異なる。地表のアルベド（ α ）と長波に対する射出率（黒体度： ϵ ）を土地利用別に仮定することによって、ある代表点の放射収支結果から土地利用別の正味放射量を算定することができる。

正味放射量は全天日射量を $S \downarrow$ 、大気からの長波放射（赤外放射）量を $L \downarrow$ 、地表温度に対する黒体放射を δTs^4 とした場合、次式で定義される。

$$R_n = (1 - \alpha)S \downarrow - \epsilon(\delta Ts^4 - L \downarrow) \quad \dots (2)$$

ここで、 δ はステファンボルツマン定数 ($5.67 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)、 T_s はそれぞれの地表における有効赤外地表面温度 (K) である。

つぎに、対象地域上空高度 113.6m にて、気温・風速は対象地域内に一様であると仮定し、福武書店屋上の観測点の値を代表値として次の式にもとづき顕熱輸送量を算定した。

$$H = C_p \rho C_h U_{113.6} (T_s - T_{113.6}) \quad \dots (3)$$

ここで、 $C_p \rho$ とは空気の体積熱容量 (1 気圧, 20℃で $1.21 \times 10^3 \text{JK}^{-1}\text{m}^{-3}$) であり、 C_h とは顕熱輸送量のバルク係数 (無次元)、 $U_{113.6}$ および $T_{113.6}$ はそれぞれ代表点の風速 (m/s) と気温 (K) である。なお、顕熱輸送量のバルク係数 C_h は地表の粗度に依存し、次式で与えられる。

$$C_h = \left(\frac{k}{\ln \left(\frac{113.6 - d}{Z_0} \right)} \right)^2 \quad \dots (4)$$

式(4)中の k とはカルマン定数 (0.4) で、 d および Z_0 は土地利用毎の地面修正量と粗度長 (m) である。

式(1)~(4)においての各種係数の設定に当たっては、それぞれの土地利用毎の有効赤外地表面温度はサーモフロの観測結果を用い、アルベドと射出率は Morgan ら (1977)⁹⁾ および川島 (1986)¹⁰⁾、杉田ら (1992)¹¹⁾ が検討した係数を参考に、地面修正量と粗度長については、竹内・近藤(1993)¹²⁾ や近藤(2000)⁸⁾ が提示した地表状態ごとの係数設定を基本として、Morgan ら(1977)⁹⁾ を参考にそれぞれ設定した。また、地中伝導熱は川島 (1986) が指定した正味放射量に対する割合¹⁰⁾ を参考に土地利用毎に係数を設定し算出した (表 3)。

都市緑地の熱環境特性は、式(2)から式(3)によって土地利用別の正味放射および顕熱輸送量、地中熱流量を求め、式(1)の熱収支式によって潜熱輸送量を算出した。なお、アスファルトの潜熱輸送量を 0 とした。式(4)から算定したバルク係数は、芝地 0.00314、樹林地 0.0033 であった。

表 3 土地利用別地表物理特性

土地利用	アルベド	射出率	地面修正量(m)	粗度長(m)	G/Rn
樹林地	0.16	0.99	0.10	3.50	0.08
芝地	0.16	0.99	0.09	0.20	0.10
浅い水面	0.09	0.99	0.00	0.00	0.65
裸地	0.35	0.98	0.02	0.15	0.20
コンクリート・アスファルト	0.30	0.96	-	-	0.35

竹内・近藤(1993)、近藤(2000)、Morgan(1977)より作成

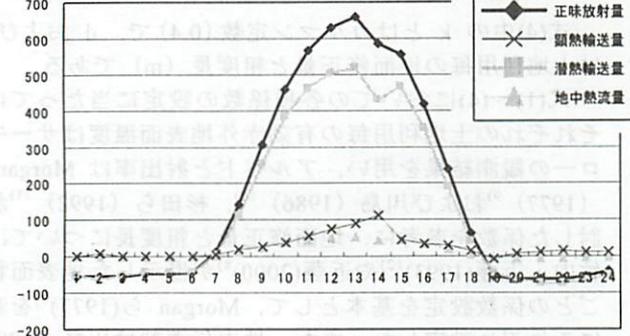
3.2 都市緑地の熱環境の評価

土地利用別の正味放射量は、12 時の値が芝地 616.0Wm^{-2} 、樹林地 660.2Wm^{-2} 、コンクリート・アスファルトでは 326.9Wm^{-2} と計算された (図 3)。これはコンクリート・アスファルトが芝地や樹林地の約 2 倍ものアルベドをもち、かつ地表温度が非常に高いことに起因する。顕熱輸送量は、コンクリート・アスファルトが最も高く 212.5Wm^{-2} (12 時) であった。通常、顕熱輸送量の最大値出現時刻は正味放射のそれよりも 1~2 時間遅れて現れる。この現象は、太陽エネルギーによりまず地表が暖められ、その熱エネルギーの一部が顕熱輸送量となって大気中に輸送され、大気温度 (気温) を上昇させるため起こるものである。今回の調査結果でも、コンクリート・アスファルトをのぞく 4 つの地表において同じ現象が認められた。なお、12 時から 14 時までの正味放射合計に対し顕熱輸送量合計が占める割合は、芝地が 17.5%、樹林地が 13.7%、裸地 62.0%、コンクリート・アスファルト 63.8% であった。コンクリート・アスファルト、裸地は正味放射量が小さく評価されているにも関わらず、顕熱輸送量はその値が芝地・樹林地を上回っている。さらに、正味放射量の 60% 以上のエネルギーを消費していることから、都市の大気熱環境に与える影響は大きいといえる。

潜熱輸送量は、樹林地が最も大きな値を示し、12 時に

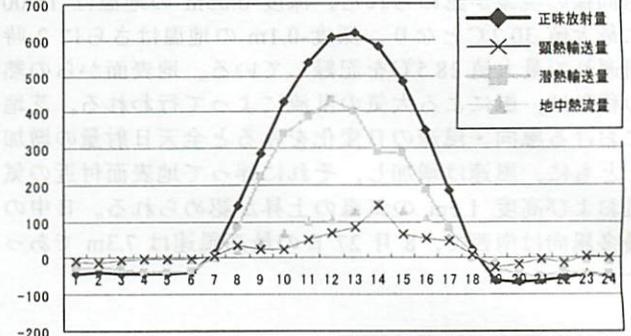
潜熱輸送量

(Wm^{-2})



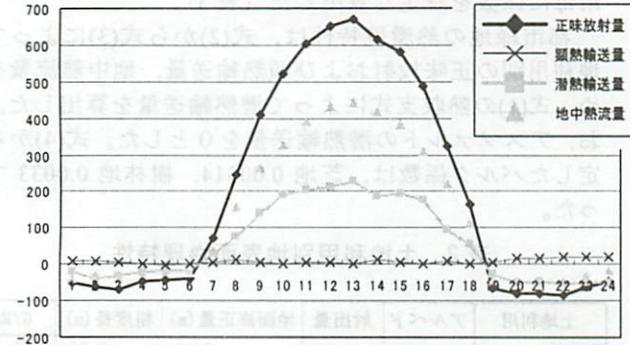
潜熱輸送量

(Wm^{-2})



潜熱輸送量

(Wm^{-2})



潜熱輸送量

(Wm^{-2})

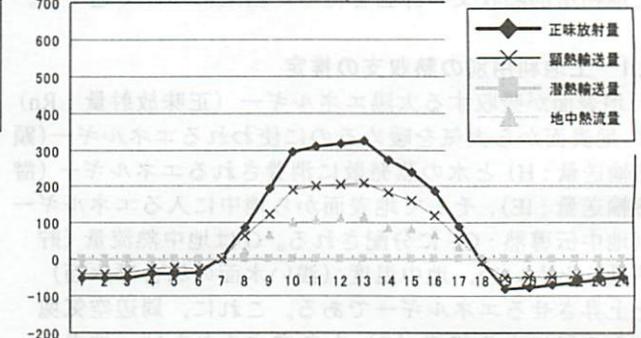


図3 土地利用別熱収支計算結果

518.77 Wm^{-2} であった。ついで芝地が 401.27 Wm^{-2} であった。一方、浅い水面では、正味放射量の大部分(約 65%)が水温を上昇させるための貯熱量に費やされるために、日中の潜熱輸送量は樹林地と比較して非常に小さく、230.47 Wm^{-2} (12 時)にすぎなかった。

4. 都市緑地のクールアイランド効果の推移予測

多摩中央公園を対象として、都市緑地の土地利用の改変による熱環境の変化について予測した。なお、多摩中央公園に広範囲に分布している樹林地については、樹木が生長することにより熱環境緩和効果が増幅することが予想されるため、樹木の生長による熱環境緩和効果を考慮し、熱環境調査時点から 20 年後にかけての熱環境について予測を試みた。また、多摩中央公園の樹林地の熱環境緩和効果の推定にあたっては、中央公園の代表的な樹木であるクスノキを対象とし、衛星画像より細密な解像度が得られる航空機 MSS を用いて樹木 1 本単位での植物活力度 (NDVI) を計測するとともに、航空機 MSS と同期した熱環境調査を実施し、双方のデータを用いて樹木の生長を考慮した潜熱輸送量を推定した。なお、熱環境の予測モデルの構築に当たっては、後述するように樹木の毎木調査データの精度の問題やモデル構築に用いた樹木の本数が限られたことなどにより得られた結果の精度に若干の問題があると予想される。よって、本論中の位置づけとしては、方法論の提示のみにとどめ、本モデルを用いた具体的な検討はデータ整備の後実施することにした。

4.1 樹木の生長を考慮した潜熱輸送量予測モデルの検討手順

樹木の生長を考慮した潜熱輸送量予測モデルの構築手順は、はじめに、①樹木の胸高直径と樹齢の毎木調査結果を用いてクスノキの樹齢と胸高直径との関係をモデル化する。次に、②航空機 MSS で計測したクスノキの NDVI と対象木の胸高直径との関係を調査し、クスノキの胸高直径と NDVI の関係モデルを構築する。さらに、③胸高直径の異なるクスノキを 3 本選定し、クスノキの NDVI と潜熱輸送量との関係より、NDVI をパラメータとした潜熱輸送量算定式を検討する。最後に、④クスノキの樹齢と胸高直径との関係、胸高直径と NDVI の関係モデル、NDVI をパラメータとした潜熱輸送量算定式より、NDVI を入力パラメータとする樹木の生長を考慮した潜熱輸送量予測モデルを構築する (図 4)。

4.2 樹木の生長を考慮した潜熱輸送量予測モデルの検討

4.2.1 クスノキの胸高直径と樹齢との関連性の検討

樹木の生長モデルは立木の効果的な収穫法や森林の保全計画を研究する目的で始められ、今後の生長予想や収穫量の予測モデルの研究が行われてきた。樹高及び胸高直径の生長モデルを見てみると、樹高及び胸高直径とも若齢林では生長速度は急で、高齢林に向かうほど生長速度は少なくなる性質を持っている。その関係は式(5)で示される Mitscherlich の法則に従っている。

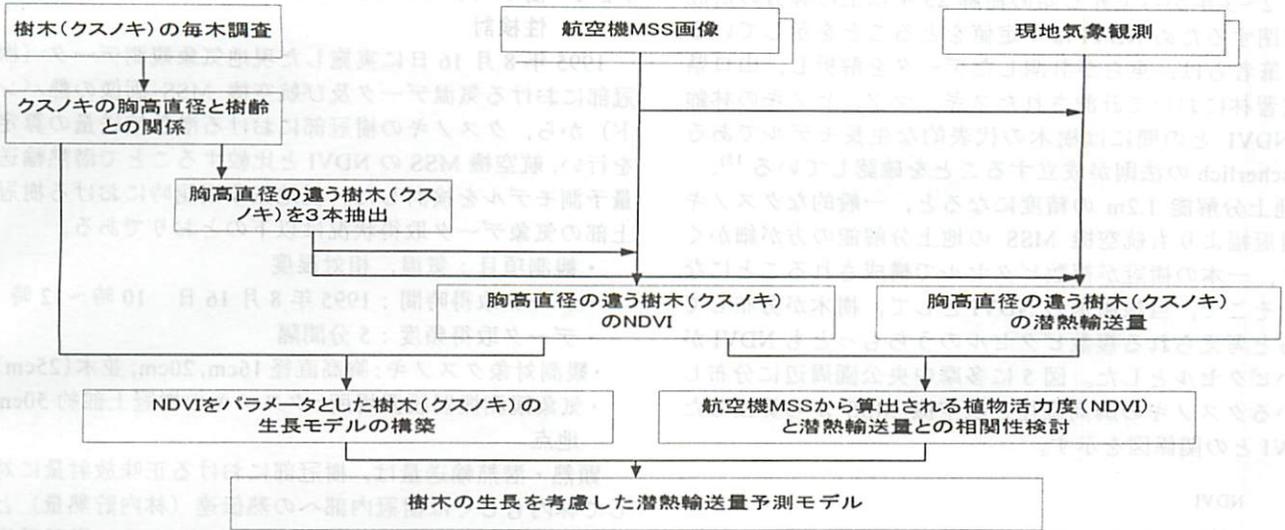


図4 樹木の生長を考慮した潜熱輸送量予測モデル検討手順

$$x(t) = M(1 - e^{-kt}) \quad \dots (5)$$

ここで、 $x(t)$ は樹齢 t 年の時の胸高直径(cm)、 M は最大胸高直径(cm)、 k は勾配係数、 t は樹齢(年)を表す。本論文では、クスノキの生長モデルを胸高直径を基準として樹齢を算定するモデルを検討した。なお、クスノキの生長モデルの構築にあたっては、本来であれば多摩中央公園を対象とした毎木調査により多摩中央公園の地理的特性に相当した胸高直径と樹齢の関係をモデル化すべきである。対象木の樹齢を計測する際は、コアサンプルを採取し年輪の個数を計測する手法が一般的であるが、都市緑地の管理の都合上実施できなかった。そこで、本論では、(財)日本緑化センターが九州南部のクスノキ試験林で実施した毎木調査結果より集計した胸高直径と樹齢の関係¹³⁾を抽出し、九州南部のクスノキの生長量と東京のクスノキの生長量が同一と仮定して、胸高直径より樹齢を推定する式を検討した。表4に、(財)日本緑化センターが計測したクスノキの胸高直径と樹齢の関係を示す。

表4 クスノキの胸高直径と樹齢の関係

樹齢 (年)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	年輪幅 (cm)
5		0.97	0.00
10		3.30	0.00
15		5.67	0.00
20	16.0	7.65	4.85
25	21.0	9.80	6.36
30	26.0	11.90	7.88
35	31.0	13.60	9.39
40	35.5	14.40	10.76
45	40.4	15.35	12.24
50	55.9	16.00	16.94

(財)日本緑化センター(1986)より作成

表4より樹齢と胸高直径との関係を一次式で回帰した場合、式6が得られる。

$$t = 0.7917 \times x + 9.405 \quad \dots (6)$$

16.0cm < 胸高直径(x) < 55.9cm

ここで、 t は、林齢(年)、 x は胸高直径(cm)であり、相関係数(r)は0.970である。クスノキの胸高直径を計測することにより概略的に樹齢を推定することができる。

4.2.2 NDVIをパラメータとしたクスノキの生長モデルの構築

一般に都市レベルの地表面観測には、地上分解能が30mのLandsatTMが用いられ、農業分野や資源探査分野、森林分野など多岐にわたり適用され効果をあげている。しかし、リモートセンシング技術の樹木レベルの解析に際しては、樹冠幅がLandsatTMの1画素よりも小さいため、より地上分解能の細かいデータが必要になる。そこで、本論では、航空機MSSにより、地表面データの取得を行った。航空機MSSの観測諸元を表5に示す。

表5 航空機MSS観測諸元

観測実施日	: 1995年8月16日
データ取得時間	: 第1サイクル 9:58~10:08 第2サイクル 12:09~12:20
使用センサ	: AT-5M
	Band1: 0.40~0.46 μ m
	Band2: 0.53~0.57 μ m
	Band3: 0.65~0.70 μ m
	Band4: 0.95~1.10 μ m
	Band5: 8.00~14.0 μ m
地上分解能(予想値)	: 1.2m

植物観測の分野では、主として農作物の収穫予測を行うことを目的として、植物の生育状況を示す指標の研究が進められており、近赤外と赤色のセンサを用いた正規化植生指標(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)が提案されている。

$$NDVI = \frac{IR - Red}{IR + Red} \quad \dots (7)$$

ここで、 IR は近赤外の波長に相当するセンサ、 Red は赤色の波長に相当するセンサのそれぞれ輝度値である。

NDVIと樹木の活性度に関する研究事例は、東ら(1994)は、山口県の演習林において、1987年5月7日観測のランドサットTMデータを使用し、スギ、マツ、ヒノキの林齢とNDVIの関連について報告しており、NDVIは植

栽後2~3年から上昇し始め樹齢25年以上は林分の樹冠が密閉するためNDVIは一定値をとることを示している¹⁴⁾。筆者らは、東らが計測したデータを解析し、山口県の演習林において計測されたスギ、マツ、ヒノキの林齢とNDVIの間には樹木の代表的な生長モデルであるMitscherlichの法則が成立することを確認している¹⁵⁾。

地上分解能1.2mの精度になると、一般的なクスノキの樹冠幅よりも航空機MSSの地上分解能の方が細くなり、一本の樹冠が複数ピクセルで構成されることになる。そこで、当該樹木のNDVIとして、樹木が分布していると考えられる複数ピクセルのうちもっともNDVIが高いピクセルとした。図5に多摩中央公園周辺に分布しているクスノキの胸高直径と航空機MSSから算出したNDVIとの関係図を示す。

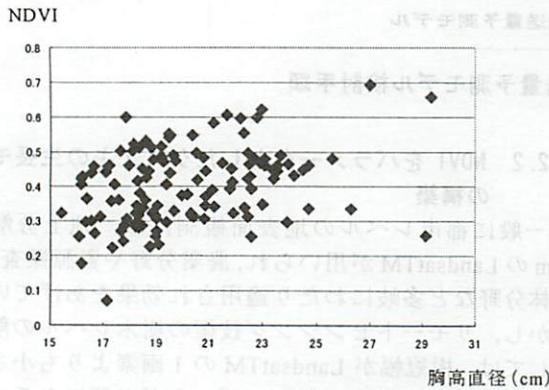


図5 クスノキの胸高直径とNDVIとの関係

図5をMitscherlichの生長則で回帰すると、式(8)が得られる。

$$NDVI = 0.159 + 0.641 \times (1.0 - \exp(-0.042x + 0.032)) \quad \dots (8)$$

但し、相関係数(r)は0.52である。さらに、式(6)と式(8)を組み合わせると、クスノキの樹齢とNDVIの関係が式(9)のとおり導き出される。

$$NDVI = 0.159 + 0.641 \times (1.0 - \exp(-0.053 \times (t - 10))) \quad \dots (9)$$

一般に、都市緑地に栽植される樹木は、単木が多く、剪定や落葉・剪定枝条の収集などの管理が定期的に行われる。この際の剪定は、都市緑地を利用する人の邪魔にならないように手入れする方法がとられ、比較的幹の下部まで枝条がついていることが多い。また、樹木が生育している場所により、地盤や土壌、日射の状況が異なるため、生育量に差が生じやすい特徴を有する。これに対し、試験林は樹木間が競合しつつ上部へと生長するため、樹冠部およびその周辺に集中して枝条が分布している場合が多い。このため、都市緑地の樹木は試験林と比較して、全体的な葉量は多く、胸高直径の大きい特性を有するとともに、生長量が同じ樹齢でも異なることが考えられる。このため、九州南部のクスノキ試験林を対象に樹齢と胸高直径をモデル化した本論の結果は、同じ樹齢でもNDVIに幅が生じ、樹齢が多めに予測された結果になっている点に留意する必要がある。

4.2.3 樹木(クスノキ)のNDVIと潜熱輸送量との相関性検討

1995年8月16日に実施した現地気象観測データ(樹冠部における気温データ及び航空機MSS画像の熱バンド)から、クスノキの樹冠部における潜熱輸送量の算定を行い、航空機MSSのNDVIと比較することで潜熱輸送量予測モデルを検討した。現地気象観測時における樹冠上部の気象データ取得状況は以下のとおりである。

- ・観測項目：気温、相対湿度
- ・データ取得時間：1995年8月16日 10時~12時
- ・データ取得頻度：5分間隔
- ・観測対象クスノキ：胸高直径16cm, 20cm, 並木(25cm)
- ・気象観測機器設置場所：クスノキの樹冠上部約50cm地点

顕熱・潜熱輸送量は、樹冠部における正味放射量に対して林内もしくは樹冠内部への熱伝達(林内貯熱量)と大気を暖めるための顕熱輸送量、蒸発のための潜熱輸送量で収支がとれていると仮定して算定を行った。表6に調査したクスノキの潜熱輸送量計測結果を示す。

表6 潜熱輸送量計測結果
(クスノキ、1995年8月16日)

樹木	胸高直径 (cm)	潜熱輸送量 (Wm ⁻²)	
		10時	12時
クスノキ(単木)	16	387	401
クスノキ(単木)	20	308	487
クスノキ(並木)	25	407	526

クスノキのNDVIに対応した潜熱輸送量の分布図及び回帰式を図6に示す。

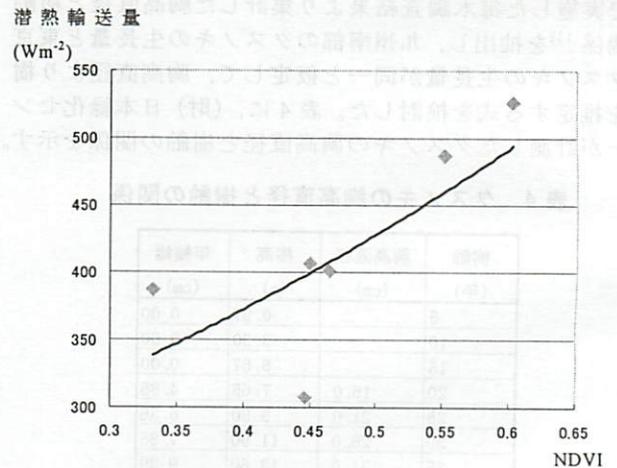


図6 NDVIと潜熱輸送量の関係(クスノキ)

クスノキのNDVIと潜熱輸送量の間を指数関係で回帰した場合、以下の式で回帰できる。

$$IE = 212.67 \times e^{1.4002 \cdot NDVI} \quad \dots (11)$$

ここで、IEは潜熱輸送量(Wm⁻²)であり、相関係数(r)は0.647である。式(6),(9),(11)から、対象樹木の胸高直径を計測することにより、対象樹木の潜熱輸送量の将来予測が可能となる。

4.3 土地利用の組み合わせによる都市緑地の熱環境の将来予測

造成された都市緑地は、樹木、芝地や観葉植物、砂地や遊具類などのさまざまなパーツより構成されており、それらが有機的に組み合わせることにより地域環境を改善する効果を有しているが、樹木が生長することで、これらの効果がより強まることが予想される。

そこで、樹木の生長を考慮した潜熱輸送量予測モデルを用いて、土地利用の組み合わせによるクールアイランド効果（潜熱輸送量）の変化を求める時系列解析シミュレーションを多摩中央公園をモデルに実施した。具体的には、表1に示す現在の多摩中央公園の土地利用面積率を参考に、樹林地（クスノキ）、芝地、コンクリート・アスファルトの3項目の土地利用を変化させた場合の代替案を以下のとおり設定し、それぞれについて潜熱輸送量の推移（現況～20年後）を試算した。なお、クスノキの生長モデルの際の起点は、都市緑地内の樹木の胸高直径を計測した結果平均約25cmであったため、式(6)より樹齢29年と設定した。

[組み合わせパターン]

- ① 現在の土地利用の割合
- ② 現在の土地利用構成より、コンクリート・アスファルト面積を5%樹林地に置き換えた場合
- ③ 現在の土地利用構成より、コンクリート・アスファルト面積を5%芝地に置き換えた場合
- ④ 現在の土地利用構成より、樹林地面積を5%コンクリート・アスファルトに置き換えた場合

表7に、それぞれの土地利用の組み合わせ（シナリオ）による潜熱輸送量の現況、10年後、20年後の推移予測結果を示す。

表7 潜熱輸送量予測結果

土地利用		①	②	③	④
土地利用面積比率 (%)	樹林地	58.8	63.8	58.8	53.8
	芝地	19.0	19.0	24.0	19.0
	水面	7.5	7.5	7.5	7.5
	裸地	0.4	0.4	0.4	0.4
	コンクリート・アスファルト	14.3	9.3	9.3	19.3
都市緑地の潜熱輸送量平均 (W/m ²)	現況	370.1	393.6	390.2	346.6
	10年後	410.0	436.9	430.1	383.1
	20年後	436.1	465.2	456.2	407.0

多摩中央公園の現況の土地利用の割合をそのまま将来も継続すると仮定した場合、潜熱輸送量は現在を100として10年後で10.8%、20年後で17.8%潜熱輸送量が増加すると予測された（シナリオ①）。このシナリオはクスノキの生長のみの潜熱輸送量増加効果である。

次に、シナリオ①を基準に、樹林地を5%増加させた場合（シナリオ②）と芝地を5%増加させた場合（シナリオ③）を比較すると、基準（現況、シナリオ①）と比較した場合、コンクリート・アスファルト面から樹林地に土地利用を変更したシナリオは現況と比較して約6.3%潜熱輸送量が増加しており（シナリオ②）、芝地（約5.4%増加）よりも効果が大きくなっている（シナリオ③）。

これは、潜熱輸送量が少なく、顕熱輸送量が支配的なコンクリート・アスファルト面積が減少したことによる潜熱輸送量の増加分であり、将来についても同様な傾向を示している。

コンクリート・アスファルト面を増加させるシナリオ（シナリオ④）を見てみると、シナリオ②、シナリオ③とは逆に潜熱輸送量は現況と比較して減少しており、特に樹林地を改変したシナリオ（シナリオ④）は現況と比較して6.34%減少している。都市緑地は、特に大都市の中では数少ない緑が分布している空間であり、その緑地にコンクリート・アスファルトで被覆された人工建造物の過度な設置は、ヒートアイランド対策にとってマイナスに作用する。

5. 都市熱環境の観点から見た環境経済価値の評価

都市緑地の環境経済評価の既往研究を見てみると、大気汚染の経済性評価については道路緑化の観点からヘッドニックアプローチにより検討がされており、単位汚染源あたりの住宅資産価値低下量を推定している¹⁶⁾。しかし、樹木のクールアイランド効果の環境経済性評価は未だ研究段階にあり、確立された手法は存在しない。そこで、本論では、水が蒸発する際に奪われる気化熱の大きさを他の環境財で代替する代替法を適用して、クールアイランド効果の環境経済評価を実施した。なお、クールアイランド効果の環境経済性評価は、多摩中央公園を対象とした熱環境調査結果を基準に算定した。

5.1 多摩中央公園のクールアイランド効果による環境経済性の推定法

クールアイランド効果の環境経済性は、水が蒸発する際に奪われる気化熱（潜熱輸送量）を天然のクーラー（冷房源）として位置づけ、クーラーに使用される石油エネルギー量に代替させることによって算出することができる。なお、環境経済性評価推定にあたって用いたデータを以下に示す。

- ・ 環境経済評価の評価時点：1994年8月27日（熱環境調査日）
- ・ 評価使用クールアイランド効果：午前12時の時点の蒸散量

本論におけるクールアイランド効果の環境経済評価の要点は、蒸散による気温低下量がクーラー何機分に相当するかにある。具体的な算定手順は、この潜熱輸送量を、クーラーに使用される石油エネルギー量に代替させ、その石油エネルギーから生み出されるCO₂量を計測し、経済性を評価する視点として炭素税の概念を導入することで環境経済性を評価する。

5.2 多摩中央公園のクールアイランド効果によるCO₂排出削減量の推定

① 緑（植物）のクールアイランド効果のエネルギー換算

植物等からの生成される水量が蒸発する際に必要なエネルギー（電気量）の推定方法は以下の算定式により算出する。

$$\text{Req_cooler} = \text{Per} / \text{Abi_cooler} \quad \dots \quad (12)$$

$$\text{Per} = \text{ET} * \text{Hv} / \text{Eh} \quad \dots \quad (13)$$

ここで、Req_cooler は潜熱輸送量のクーラー換算、Per は潜熱輸送量の電力換算 (kWh), ET は蒸発散量 (kg(hour)⁻¹), Hv は水の気化熱 =583kcal·kg⁻¹ (constant), Eh は 1(kWh)あたりの電力を利用して得られる熱量 =860kcal (constant), Abi_cooler は一般家庭用クーラーの冷房能力(2.5kW)。

表 8 に、式(12),式(13)により算出した多摩中央公園の潜熱輸送量のエネルギー換算結果を示す。多摩中央公園の平均蒸散量は単位面積単位時間あたり 0.53mm であり、その水塊が気化する際に必要なエネルギーは約 3.61 万 kWh と計算された。このエネルギー量は、一般家庭用クーラー (8 畳用, 2.5kW), 約 14,000 個分に相当するエネルギー量に相当する。

表 8 潜熱エネルギーのエネルギー換算結果

	樹林地	芝地	水面	裸地	コンクリート アスファルト	合計
蒸発散量(mm/時)	0.68	0.58	0.33	0.16	0.00	
蒸発散量(kg/時)	39768	10979	2489	62	0	53298
エネルギー換算(kWh)	26959	7443	1687	42	0	36131

② 電力を生産する場合に必要なとなる CO₂ 排出量の推定

現状の多摩中央公園の CO₂ 排出削減効果は、式(14)に示すように、①で推定した多摩中央公園のクールアイランド効果のエネルギー換算結果と、現状のエネルギー使用量とエネルギー種別炭素排出量より算定した現状の CO₂ 排出実績値を乗じることにより予測した。

$$Ex_{CO_2} = Unit_{CO_2} * Per / COP \quad \dots \quad (14)$$

ここで、Ex_CO₂ はクールアイランド効果による CO₂ 排出削減ポテンシャル(t/時), Unit_CO₂ は現在の発電割合に応じた単位 kWh あたりの CO₂ 排出量 =382.434g(kWh)⁻¹ (constant), Per は蒸発散による一次エネルギー消費軽減ポテンシャル(kWh), COP はエネルギー消費効率 (一般家庭用空調機 : 5.81) である。

現在の発電割合に応じた単位 kWh あたりの CO₂ 排出量の推定にあたっては、発電実績による各種電源別の CO₂ 排出原単位に 2001 年の発電実績を乗じて算出した。表 9 にエネルギー消費軽減による炭素排出削減ポテンシャルの推定結果を示す。表 9 より、多摩中央公園の夏の 12 時時点の家庭用の空調機を想定した CO₂ 削減量は 2.55t/時-CO₂ と予測され、この蒸散効果が夏季連続して続くと仮定して試算した夏季全体の CO₂ 軽減効果は、2,752t-CO₂ と予測される。現在、東京都では、地球温暖化対策地域推進計画を策定し、2010 年には 1990 年実績の 6%減を目標としている。本論で試算した多摩中央公園が夏季に削減できる CO₂ 量は、東京都が 2000 年の年間 CO₂ 排出量の約 0.004%に相当する¹⁷⁾。

表 9 エネルギー消費軽減による炭素排出削減ポテンシャルの推定結果

	樹林地	芝地	水面	裸地	コンクリート アスファルト	合計
CO ₂ 排出量換算(t/時)	1.90	0.53	0.12	0.00	0.00	2.55

5.3 多摩中央公園のクールアイランド効果の環境経済性の評価

クールアイランド効果の貨幣価値の推定にあたっては、地球環境の観点から炭素税の概念を取り入れ、式(15),(16)のとおり、CO₂ 排出期待量に炭素 1t あたりの単価を乗じて算出した。

中央環境審議会の目標達成シナリオ小委員会 (西岡秀三委員長) によると、炭素 1t あたり約 3 万円の炭素税を導入すれば、2010 年の CO₂ など温室効果ガスの排出量を 90 年レベルから 2%削減することが可能であり、この場合の国内総生産 (GDP) の損失は 0.06~0.72%に抑えられるなどとする中間取りまとめ案をまとめている¹⁸⁾。炭素税率の設定にあたっては、この答申に従い、CO₂ 排出 1t あたり 30,000 円を適用した。

$$Ex_C = Ex_{CO_2} / 3.67 \quad \dots \quad (15)$$

$$C_{Tax} = Ex_C * Tax \quad \dots \quad (16)$$

ここで、Ex_C は炭素排出量(t·day⁻¹), Ex_CO₂ は CO₂ 排出削減量(t·day⁻¹), C_Tax は炭素税換算 (yen·day⁻¹), Tax は炭素 1t あたりの炭素税額 =30,000 円 (中央環境審議会 地球環境部会試算) である。

表 10 に、多摩中央公園のクールアイランド効果の環境経済性評価結果を示す。

表 10 クールアイランド効果の環境経済性評価結果

	樹林地	芝地	水面	裸地	コンクリート アスファルト	合計
炭素税換算(万円/時)	1.56	0.43	0.10	0.00	0.00	2.09

多摩中央公園のクールアイランド効果による環境経済性は、1 時間当たり 2.09 万円と試算された。

世界各国は、1997 年 3 月に地球温暖化防止京都会議を開催し、その中で温室効果ガスの排出削減の数値目標を提示することに成功した。京都会議で日本は、2010 年までに 1990 年の状況から 6%の温室効果ガスの排出削減が義務付けられている。そこで、政府は 1998 年に地球温暖化対策推進大綱を決定し、産業部門の CO₂ 排出 1990 年比 7%削減を目標とし、地方自治体等においても、自治体ごとに削減目標を定め対策を講ずるなど本格的な対策を始めている。その中で、本論の対象である都市緑地は、樹木が持つ CO₂ 吸収効果やクールアイランド効果により空調機使用時間が減少することによる化石燃料の節約も期待でき、都市域における有効な地球温暖化対策の一つのオプションとして位置付けられ、政策的に屋上緑化などの環境整備が具体化され始めている。本論は、広さ 10ha の多摩中央公園のクールアイランド効果を検証し、多摩中央公園が夏季に削減できる CO₂ 量は、東京都が 2000 年の年間 CO₂ 排出量の約 0.004%に相当する膨大な量であり、その経済性は地域経済にとっても無視できないことを示した。都市緑地の設置は、生態系の保全や地域住民の交流の場としての位置づけのほか、住民の心のやすらぎを確保する空間であるとともに、京都議定書の目標に近づけることのできる重要な解決策の一つである。

6. まとめと今後の課題

本論では東京都多摩市の多摩中央公園を対象に、樹林地と芝地、浅い水面（非対流性水深30cm）のクールアイランド効果を定量化し、クールアイランド効果を予測する手法の方向性を提示するとともに、その環境経済性を推定した。本論の成果をまとめると以下のとおりである。

①南中(12)時の被覆別の潜熱輸送量は、樹林地が最も大きく(約 500Wm^{-2})、次いで芝地(約 400Wm^{-2})、浅い水面(約 200Wm^{-2})の順となっており、樹林地のクールアイランド効果の優位性が示された。

②樹木1本が識別できる航空機MSS画像と航空機MSSの撮影時間と同期させて実施した熱環境調査結果を用いて熱環境予測モデルを構築し、土地利用の組み合わせによる熱環境の推移を試算した結果、多摩中央公園の現況の土地利用の割合をそのまま将来も継続すると仮定した場合、潜熱輸送量は現在を100として10年後で10.8%、20年後で17.8%増加すると予測された。

③熱環境緩和による一次エネルギー消費量削減効果の観点から推定した多摩中央公園のクールアイランド効果の環境経済性は、夏季の2.09万円/時と試算された。なお、この蒸散効果が夏季連続して続くと仮定して試算した夏季全体の CO_2 軽減効果は、 $2,752\text{t-CO}_2$ と予測される、この量は、東京都が2000年の年間 CO_2 排出量の約0.004%に相当する。

今後の課題は以下の3点が考えられる。

① 気象条件を変化させた場合による検証、および顕熱や地中熱流量を加えた総合的な熱環境評価システムの検討

本論では、夏季の快晴の日を対象に熱環境評価を実施した。樹木のクールアイランド効果は夏季の日中に顕著に効果が発揮される。しかし、熱環境全体を評価するためには、快晴以外の気象条件にも配慮するとともに、顕熱輸送量による気温上昇効果や貯熱(地中熱流量)の気温平滑化効果を含め、熱環境を総合的に定量化する段階で各パラメータのクロスチェックが必要である。

② 熱環境の環境経済評価手法の改善

本論では、熱環境の環境経済評価手法として、代替法を適用し、クールアイランド効果をクーラー換算して経済性を評価した。今後は、これを総合的な熱環境評価システムに対応した評価法へと発展させていく必要がある。

③ 樹木の生長モデルの改良

本論においては、多摩中央公園の熱環境を予測する際の樹木の生長モデルに、九州南部のクスノキ試験林で調査された樹齢と胸高直径の調査結果を適用した。しかし、東京地方とは地理的、気候的に差がある九州南部のデータを適用することには問題がある。さらに、試験林と都市緑地に分布しているクスノキでは維持管理手法に明確な差があり、生長量も異なると予想される。そこで、多摩中央公園およびその周辺の都市公園を対象としてクスノキの樹齢と胸高直径の関係を数十年の範囲に亘ってモニタリングできるようなプログラムが検討されることに期待したい。

謝辞：本論の作成にあたり、論文構成の視点・考え方をご教授いただいた高知工科大学社会システム工学科村上雅博教授、都市緑地の熱収支解析に示唆いただいた日本工営株式会社佐藤律子氏に御礼申し上げます。また、航空機MSSによるデータ取得に際しては中日本航空株式会社に協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) IPCC (2001) Third Assessment Report: Climate Change 2001
- 2) 気象庁(2002): 異常気象レポート
- 3) 萩島理, 片山忠久, 林徹夫, 谷本潤(1999): 樹木の放射温度分布に関する実測, 街路樹のある街路の温熱環境予測 その1, 日本建築学会計画系論文集, No.516, pp.79-86
- 4) 萩島理, 片山忠久, 林徹夫, 谷本潤(1999): 数値計算による街路樹の暑熱緩和効果の評価, 街路樹のある街路の温熱環境予測その2, 日本建築学会計画系論文集, No.525, pp.83-90
- 5) 山田宏之 (1995): 都市気温分布と緑地分布の関連性についての都市間比較, ランドスケープ研究, 58 (5), pp.253~256.
- 6) 神田・日野 (1990): 大気-植生-土壌系モデル (NEO-SPAM) によるシミュレーション(2)植生の気候緩和作用の数値実験, 水文・水資源学会誌, Vol.3, 1990
- 7) 尹聖統, 梅干野晃, 鎌田陽子, 飯野秋成(2002): メトロマニラの熱環境の現状と将来予測 その10 日影面の蒸発冷却による熱環境緩和効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学I(北陸), pp.923-924,
- 8) 近藤純正(2000): 水循環の気象学, 朝倉出版, pp108-114
- 9) Morgan et al.(1997): Microclimates within Urban Area, Annuals of the Association of American Geographers, Vol16 No.1, pp55-65
- 10) 川島茂人(1986): 航空機MSSデータによる地表面熱収支分布の評価, 天気, 33, pp333-344
- 11) 杉田 他 (1992): Tsukuba92 水文学・境界層気象学における異なるスケール間の関係解明のための共同観測計画
- 12) 竹内清秀・近藤純正(1993): 大気科学講座I 地表に近い大気, 東京大学出版会, pp21
- 13) (財) 日本緑化センター(1986): 適地適木調査-緑化樹木の生長-
- 14) 東敏生・寺田公治(1994): 衛星データを利用した流域の森林管理技術の確立 (II), 日林関西支論3, pp25-28
- 15) 住宅・都市整備公団南多摩開発局(1996): 多摩ニュータウンにおける緑化と大気熱環境, pp117
- 16) 山崎福寿(1991): 自動車騒音による外部効果の計測-環状7号線を対象として, 環境科学, Vol.4 No.4, pp251-264
- 17) 東京都(2002): 温暖化防止! 東京作戦 第2ステージ, pp7
- 18) 環境省(2001): 「目標達成シナリオ小委員会」中間取りまとめ報告書, pp151

<解説論文>

WATER RESOURCES ASSESSMENT OF PAKISTAN: PRESENT AND FUTURE

パキスタンの水資源開発管理の現況と将来

Asif Mumtaz*, M. Akram Kahlown** and Masahiro Murakami*

Kochi University of Technology, Tosayamada-cho, Kochi 782-8502 Japan.*

Pakistan Council of Research in Water Resources, Islamabad, Pakistan.**

Abstract

Water is life. Of all the water on the earth, 97.5% is in the oceans, thus the total fresh water is only 2.5%. Pakistan, once a water-surplus country, is now a water deficit country. The rainfalls have been showing decreasing trend since 1997. The surface water resources of Pakistan mainly consist of flows of the Indus River and its tributaries, which bring in about $168.9 \times 10^9 \text{ m}^3$ of water annually. The Indus River alone provides 65% of the total river flows. Annually an average of about $45 \times 10^9 \text{ m}^3$ flows to the sea unutilized. Acute shortage of water is expected in the future due to growing demands and lesser water availability. This paper describes the present and future situation of water resources, major challenges and recommendations to meet the future demand. For sustainable development, Pakistan will have to utilize water resources efficiently and there is dire need to adapt strategy for water resources development and management, including rainwater harvesting, water quality improvement, public awareness campaigns and Implementation of water policy.

要旨

水は生命の源である。地球上の水の97.5%が海水であり、淡水は2.5%にすぎない。パキスタンでは、かつては水資源が豊富であったが、現在は水不足に陥っている。降雨量は1997年以来減少傾向にあり、水資源としての表流水は主にインダス川とその支流で、その流量は約 $168.9 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{年}$ であるが、約 $45 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{年}$ は未利用のまま海洋へ流出している。今後、水需要の増加と利用可能な淡水の不足によって、水不足問題がさらに深刻化すると予測される。

本論では、パキスタンの水資源の現況と将来について、水需要に対応するための主な課題と提言を述べる。持続可能な開発のためには、水資源の効率的な利用が必要である。パキスタンでは、雨水利用や水質改善、住民への啓発活動と水資源政策の実施を含めた水資源開発管理戦略が求められている。

Keywords: Water resources, Indus river system, Water scarcity, Water management, Pakistan

1. INTRODUCTION

The Water is one of the most precious natural resource and the lifeblood for sustained economic development in any country. Water is life. This powerful statement underlies several characteristics that can only be attributed to water. Water distinguishes the planet earth from all other plants by giving it its blue colour. Of all the water on the earth, 97.5% is in the oceans, thus the total fresh water is only 2.5%, most of which 68.7% is in the form of snow and ice. Almost all of it is practically inaccessible in the polar ice caps. About 31.1% of freshwater is underground, much of it in deep aquifers. The most accessible fresh water contained in lakes, reservoirs and rivers is only

0.26% of the total amount of fresh water or 0.007% of all water [1].

Rapid population growth and accelerated economic expansion has resulted a greater imbalance between water availability and water demand. The nations that are well endowed in fresh water resources have an economic advantage over those less fortunate.

Pakistan is situated in South Asian region between longitudes 61° & 76° E and latitudes 24° & 37° N. The geographical area of the country is 80×10^6 hectares (ha). It comprises of the provinces of the Punjab, Sindh, Balochistan, and the North West Frontier Province (NWFP). The country is

* 高知工科大学大学院 〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮の口 185
** パキスタン水資源調査委員会 Islamabad, Pakistan

bounded by People's Republic of China on the north, India on the east and southeast, Afghanistan on the northwest and Iran on the southwest. The Arabian Sea is Pakistan's southern boundary with 1,064 km of coastline.

Most of developing countries lack in renewable fresh water resources. In Pakistan its importance is more than ordinary due to the agrarian nature of the economy; the share of agriculture sector in the Gross Domestic Product (GDP) of Pakistan is about 24%. Since water is the major input in agriculture, the agricultural productivity and its sustainability depends on the timely and adequate availability of water. Pakistan is now a water deficit country according to the criteria developed by John Waterbury and Malin Falkenmark. The criteria suggests that a country with more than approximately 1,700 m³/capita/year of renewable fresh water will generally experience only intermittent or localized water shortages. As the amount of available fresh water drops below this level, countries begin to experience water stress. As the renewable water supply falls below 1,000 m³/capita/year, water scarcity begins to occur [2] [3]. It is pointed out that at present annual per capita water availability in Pakistan is about 1,050 m³, which indicates conditions approaching chronic water stress [1].

2.1 Rainfall

Pakistan is a country, which mostly comprises of arid, semiarid and hyper arid regions and a belt of humid climate along the foothills of Himalayas. In view of the drastic changes in climate, rainfall patterns and amount of precipitation falling in different regions vary considerably. The rainfalls have been showing a generally decreasing trend since 1997, which was the peak year. The mean annual rainfall distribution in Pakistan has a broad regional variation ranges between 125 mm in Southeast to 750 mm in the Northwest. About 70% of the annual rainfall occurs in the months of June to September. A large part (about 70%) of the rainfall, therefore, either floods the riverain areas and villages/cities near the rivers or flows into the sea without any economic benefit to the country. The magnitude of the annual rainfall over nearly 21 x 10⁶ ha of Indus Plains and Peshawar valley averages about 31.8 x 10⁹ m³. The present contribution of rain to crops in the irrigated areas is estimated at about 7.3 x 10⁹ m³ [1].

2.2 Surface Water Resources

The surface water resources of Pakistan mainly consist of flows of the Indus River and its tributaries. The catchment area extends over four countries-China, India, Pakistan and

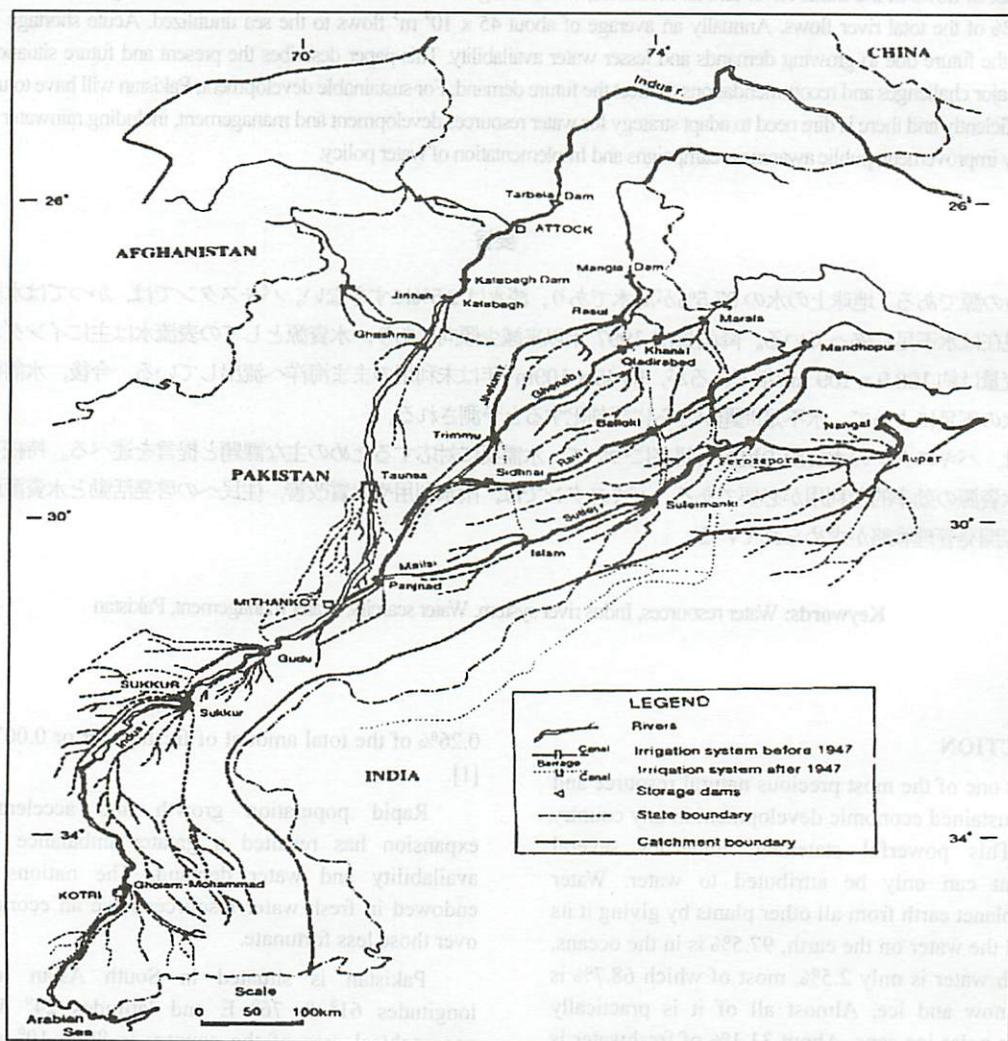


Figure 1. Indus River

2. WATER RESOURCES OF PAKISTAN

Afghanistan. The Indus rises in Tibet, in the snow-clad Kailas

range of the Himalayas, about 5,500 m above mean sea level. The river slope from the headwaters to Attock is approximately 1/ 300; from Attock to Mithankot it is 1/4,000; and from Mithankot to the sea it averages 1/7,000. The total length of the Indus is about 29,00 km. The drainage area of the whole system is approximately 970,000 km² [4].

In August 1947, the Indian sub-continent was partitioned and two sovereign countries, Pakistan and India, appeared on the world map. At that time an area of about 14.9 x 10⁶ ha were receiving irrigation supplies from the Indus River system. Of this total about 12.5 x 10⁶ ha are now in Pakistan. As a consequence of the partition, the irrigation system was divided between Pakistan and India without regard to irrigation boundaries. The Indus Water Treaty was signed between Pakistan and India in September 1960. The treaty consists of 12 articles and 8 annexure. This treaty defined the mutual obligations and rights of India and Pakistan with regard to the surface waters of the Indus and its tributaries. After the treaty, the availability of water to Pakistan has become limited to the three western rivers of Indus, Jhelum and Chenab only, while India is entitled to exclusive use of total water supplies of the eastern rivers, Ravi, Beas and Sutlej [5].

Between 1947 and 1960 intensive river development was carried out, including the following:

- on the Indus: Thal canals, Taunsa barrage (Dera Ghazi Khan and Muzaffargarh canals), Gudu barrage (Desert, D. Unhar, Begari, and Ghoti canals), Kotri barrage (Fuleli and Pinyari canals);
- on the Jhelum: Lower Jhelum canal ;
- on the Ravi: Upper Bari Doab canal extensions;
- on the Beas: Shah Nehar and Hoshiarpur canals;
- on the Sutlej and Beas: Rajasthan canal;
- on the Kabul: Warsak dam;
- on the Kurram: Kurram Garhi weir

After the Indus Water Treaty (IWT) the following major works were undertaken through the Indus Basin Development Fund (IBDF) and its successor, the Tarbela Development Fund:

- on the Jhelum: Mangla dam (1967), Rasul Barrage(1967);
- on the Chenab: Marala Barrage (1968), Qadirabad (1967);
- on the Ravi: Sidhna Barrage (1965);
- on the Indus: Tarbela dam (1976), Chashma barrage (1971);

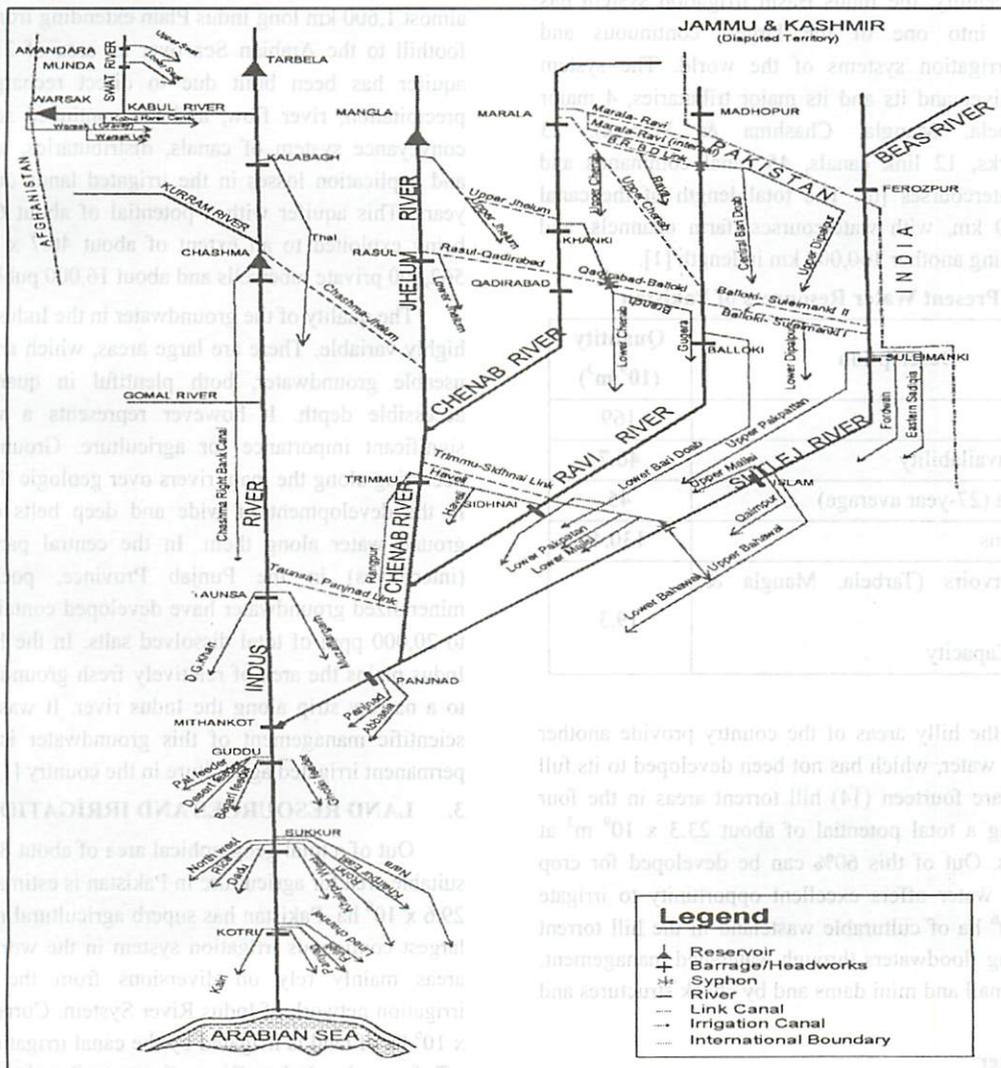


Figure 2: Schematic Diagram of Indus Basin Irrigation Network

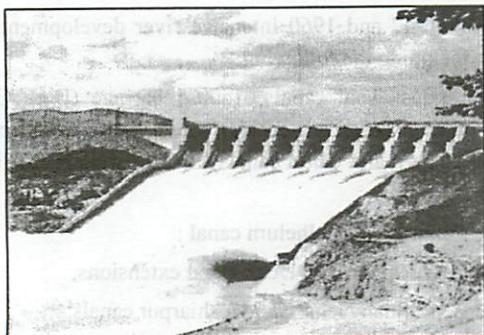


Figure 3. Tarbela Dam Spillway

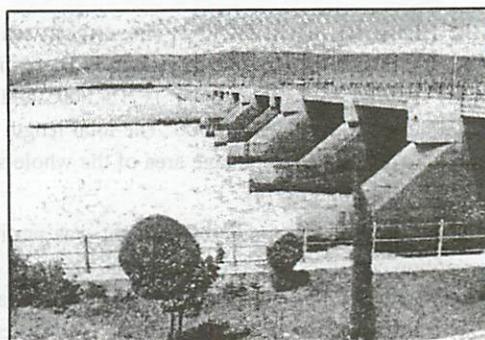


Figure 4. Chashma Barrage

- on the Jhelum, Chenab, Ravi, and Sutlej: Trimmu-Sidhnai-Mailsi-Bahawal link canal system, Rasul-Qadirabad-Balloki-Suleimanki link canal system;
- on the Indus and Jhelum: Chashma-Jhelum link canal;
- on the Indus and Chenab: Taunsa-Panjoad link canal

It is worth mentioning that the Indus River alone provides 65% of total river flows, while the contribution of River Jhelum and Chenab is 17 and 19% respectively. The peak flow months are June to August during the Monsoon season. The flow during the summer season is 84% and during winter is 16% [1]. During the 20th century, the Indus Basin irrigation system has been developed into one of the largest continuous and comprehensive irrigation systems of the world. The system includes Indus River and its and its major tributaries, 4 major reservoirs (Tarbela, Mangla, Chashma & Warsak), 23 barrages/headworks, 12 link canals, 45 canal commands and some 99,000 watercourses [6]. The total length of the canal system is 60,800 km, with watercourses, farm channels, and field ditches running another 160,000 km in length [1].

Table 1. Present Water Resources of Pakistan

Description	Quantity (10 ⁹ m ³)
Surface water	169
Groundwater availability	46.7
Outflow to Sea (27-year average)	45
Canal diversions	130.4
Storage Reservoirs (Tarbela, Mangla & Chashma)	19.3
Live Storage Capacity	

Source: [7]

Torrents in the hilly areas of the country provide another source of surface water, which has not been developed to its full potential. There are fourteen (14) hill torrent areas in the four provinces offering a total potential of about 23.3×10^9 m³ at about 1,200 sites. Out of this 60% can be developed for crop production. This water offers excellent opportunity to irrigate almost 14.8×10^6 ha of culturable wasteland in the hill torrent area by harnessing floodwaters through watershed management, construction of small and mini dams and by check structures and terracing etc [1].

2.3 Groundwater

Rapid expansion in ground water exploitation occurred

between 1950 and 1975 in many industrialized nations, and between 1970 and 1990 in most part of the developing world [8]. Globally groundwater is estimated to provide about 50% of current potable water supplies, 40% of the demand of self-supplied industry and 20% of water use in irrigated agriculture [9]. However these portions vary widely from one country to another. Ground water is more widely used for irrigation than surface water in some countries, however in Pakistan the contribution of groundwater for irrigation is about 34% [10].

Most of groundwater resources of Pakistan exist in the almost 1,600 km long Indus Plain extending from the Himalayan foothill to the Arabian Sea over an area of 21×10^6 ha. The aquifer has been built due to direct recharge from natural precipitation, river flow, and the continued seepage from the conveyance system of canals, distributaries, and watercourses and application losses in the irrigated lands during the last 90 years. This aquifer with a potential of about 61.2×10^9 m³ is being exploited to an extent of about 46.7×10^9 m³ by over 562,000 private tubewells and about 16,000 public tubewells [1].

The quality of the groundwater in the Indus Basin aquifer is highly variable. There are large areas, which are underlain with useable groundwater, both plentiful in quantity and at an accessible depth. It however represents a water source of significant importance for agriculture. Groundwater recharge occurring along the main rivers over geologic times has resulted in the development of wide and deep belts of relative fresh ground water along them. In the central parts of the doabs (interfluvies) in the Punjab Province, pockets of highly mineralized groundwater have developed containing from 4,000 to 20,000 ppm of total dissolved salts. In the lower part of the Indus plains the area of relatively fresh ground water is limited to a narrow strip along the Indus river. It was recognized that scientific management of this groundwater is the key to the permanent irrigated agriculture in the country [11].

3. LAND RESOURCES AND IRRIGATION

Out of a total geographical area of about 80.6×10^6 ha, the suitable area for agriculture in Pakistan is estimated to be around 29.6×10^6 ha. Pakistan has superb agricultural resources and the largest contiguous irrigation system in the world. The irrigated areas mainly rely on diversions from the world's largest irrigation network of Indus River System. Currently almost 13.6×10^6 ha of land is irrigated by the canal irrigation system taking off from the Indus River System. Supplemental source of irrigation water in most cases and primary source in some cases

is groundwater. It is estimated that about 9.7×10^6 ha of land could be made productive if sufficient assured water supplies are made available [12].

The main desert areas of the country extend over about 11×10^6 ha of land area including Thar, Cholistan, Thal, and Chaghi-Kharan deserts [1]. Surface waters in these areas are almost non-existent, the groundwater is saline and unfit for productive use. The areas, however, offer good potential for saline agriculture. However, the land resources in such areas can be made more productive for agriculture and other uses if water resources are made available and properly managed qualitatively and quantitatively.

Table 2. Pakistan's Land Area and Use

Description	Area	
	10 ⁶ ha	%
Culturable Commanded Area (CCA):		
Designated for perennial irrigation	8.3	10.3
Designated for non perennial irrigation	5.3	6.6
<i>Subtotal</i>	13.6	16.9
Other Cultivated Area:		
Irrigated (from wells, streams, tanks, etc)	0.7	0.9
Rainfed (Barani)	3.2	3.9
Riverain	1.2	1.5
<i>Subtotal:</i>	5.1	6.3
Culturable Waste and Forest:		
Culturable waste	9.7	12.0
Estimated forest area	1.2	1.5
<i>Subtotal:</i>	10.9	13.5
Total Suitable for Agriculture & Forestry	29.6	36.7
Unsuitable for Agriculture and Forestry:		
Mountains and deserts	40.5	50.2
Unrecorded, towns, water area, etc.	10.5	13.1
Total Unsuitable for Agriculture and Forestry	51.0	63.3
Total Area of Pakistan	80.6	100.0

Source: [12]

4. WATER REQUIREMENTS

4.1 Domestic Needs

In Pakistan, as in many agriculture base arid regions of the world, about 97% of all river water is being used for agriculture and the remaining 3% for domestic, industrial and other purposes. In urban areas rainwater and ground water is used for municipal supplies to meet domestic requirements. Table 3 shows the present and future domestic requirements assuming per capita demand of 46 m^3 per annum.

Table 3. Water Demand for Domestic Use (10^9 m^3)

Year	1990	2000	2025
Population (Million)	110	140	260
Water Demand	5.0	6.4	11.9

Source: [13]

4.2 Agricultural Water Requirements

About 70% of worldwide consumption of water is for agriculture use, 8% for all domestic use, and 22% for industry [14]. Due to the increase in population, global climate change and intermittent drought cycles, water has become a scarce commodity. Pakistan is a country, which is required, to double its annual food production every 15 years in order to maintain its status quo in meeting food requirements. With the population growth rate of almost 2.5% per annum, the country would have to feed 120 million additional mouths by the year 2025. Table 4 shows the production and water requirements of some major crops to maintain self-sufficiency in food grains.

Table 4. Agricultural Water Demands (10^9 m^3)

Crops	1990	2000	2025
Wheat	32.15	35.25	69.66
Rice	22.99	27.22	20.42
Cotton	16.74	19.23	23.68
Sugarcane	13.89	16.41	17.05
Other Crops	35.41	37.44	57.21
Total with Losses @70%	206.01	230.44	319.63

Source: [13]

4.3 Industrial Water Requirements

The industrial water demand is considered negligible when compared with the domestic and agricultural demands. Current water supplies to the industrial sector are only about $1.4 \times 10^9 \text{ m}^3$ representing about 1% of total water demand in Pakistan. According to estimates, in industrial sector supplies are largely derived from privately owned tubewells and about 2% of water used by the industries is provided by the municipalities. Industrial demand for water may be expected to increase in the near future. The statistical survey of Pakistan indicates that GDP growth generates by the major water consuming sectors of industry has increased at an average rate of 2.9% over the past decade. Assuming that this growth rate will be sustained, the future demand of water for industrial use is as shown in Table 5.

Table 5. Water Demand for Industrial Use (10^9 m^3)

Year	2002	2011	2025
Water Demand	0.44	0.92	2.88
% Increase	-	33%	100%

Source: [1]

5. CHALLENGES IN WATER SECTOR

Pakistan is facing many challenges in water sector. Pakistan's problems in water sector are common to problems encountered in arid regions of the world. These are generally: scarcity of water, inadequate storage and sedimentation, water logging and salinity, overexploitation of fresh groundwater; low efficiency in delivery and use, inequitable distribution, pollution of aquifers, insufficient cost recovery and low production per unit of water.

5.1 Inadequate Storage and Sedimentation: Acute shortage of water is expected in the future. It is feared that the currently practiced institutional and management practices and available infrastructure of the Indus River System will not be able to achieve and sustain self-reliance in agricultural

production. Sedimentation in the three major reservoirs – Tarbela, Mangla, and Chashma is going to deplete their storage capacities by over 4.9×10^9 m³ (25%) by the end of the year 2010, which will further aggravate the situation [13].

5.2 Water Logging and Salinity: Indus Basin has flat topography, poor natural drainage, porous soils, and semi-arid climate with high evaporation. About 30% of the irrigated area is waterlogged, with about half of it highly waterlogged with water table depths less than 1.5m below surface. It is estimated that soil salinity is decreasing about 25 percent of potential production of major crops.

5.3 Inefficient Agricultural Practices: Scarcity of water in the century old irrigation system is being felt since long. As the irrigation system of Pakistan consists of the perennial rivers, a network of inundation and link canals, distributaries, watercourses and irrigated fields, an appreciable percentage of the water is lost through seepage and evaporation. Despite the enormous shortage of water for irrigation and domestic consumption, the users are still using water most extravagantly and in most injudicious ways. Crop yields in the country are among the lowest in the World due to inefficient agricultural practices and inadequate and untimely availability of water.

5.4 Groundwater Exploitation: Over the past 25-30 years, groundwater use has been a major factor in raising agricultural production. Because of uncontrolled private-sector development of groundwater, there is already an evidence of excessive lowering of water tables and intrusion of saline water into fresh-water aquifers. Extensive groundwater surveys and monitoring is required to identify, delineate and map such areas.

5.5 Operation and Maintenance of Projects: The development, management, operation and maintenance of water sector has been mainly in public sector. The pricing of water services to consumers is not commensurate with the capital and operational costs. Most of the water sector projects, after completion, suffer due to non-recovery of cost and become a burden on the exchequer.

5.6 Investment in Water Sector: The water sector has experienced meager investments in the past in relation to other commodities and most of investment has been on the development of water sector. Whereas the management of this huge knitted sector has been limited. Despite ever-increasing water demand and emerging shortage, there has not been any mega project in water sector after 1975.

5.7 Legislation and Regulation: Presently, most of the problems being faced in water sector both in qualitative and quantitative terms may be associated with non-implementation or non-existence of appropriate legislative measures. There is no enforcement of environmental regulations on industry to control disposal of hazardous effluents. Moreover, only 3 percent of the industry treats their wastewater while the rest discharge untreated effluent into rivers, lakes and sea.

6. CONCLUDING REMARKS

Pakistan's fresh water resources are becoming extremely

limited as can be concluded from the above stated facts. Acute shortage of fresh water is expected in the future due to imbalance between water availability and demands. The Indus River System, as such, will not be able to sustain self-reliance in agricultural production. For sustainable development, Pakistan will not only have to utilize these resources efficiently, but would have to introduce, in the irrigation system, additional large surface storages by constructing small and medium dams on small rivulets and streams. The quality of water is also deteriorating with time. Future prosperity will depend to a considerable extent on how well we harness and conserve freshwater resources. Integrated water resources management is a critical element in achieving good water governance.

7. RECOMMENDATIONS

The following recommendations need to be implemented in an organized and coordinated way through concerted efforts including better water management at the field level and good governance. Sustainable development demands a deeper knowledge of the interaction among economy, society and water resources. Water conservation and sustainable water resources management will be key measures to sustain the economic development of Pakistan. The conservation approach has to be performed in parallel with developing non-conventional water resources, taking into account new developments in the technology of desalination, wastewater treatment and water saving techniques.

7.1 Improving Water Use Efficiencies: Besides greater efforts would be required to implement more vigorously projects in groundwater development, command water management, on farm water management etc. The country would also have to adopt advanced irrigation technologies (like Sprinkler and drip Irrigation) to increase its crop production per unit of water. These technologies can save water by 40 to 70% on current irrigation practices. Land leveling increase field application efficiencies in plain areas where basin irrigation is the principal irrigation practice: A water saving of up to 30% can be achieved by using this technology alone.

7.2 Crop Management: To conserve water, meet water shortage, and match water requirements with supplies, appropriate changes in cropping management are considered necessary. Strategy should be adopted to introduce low delta crops in the cropping pattern when there is water shortage. This would help to generate some income rather than complete failure of high delta crops. Low delta crops with good returns therefore, should be introduced in the cropping pattern.

7.3 Construction of Storage Reservoirs, Evaporation Control and Sediment Management: To harness and utilize water resources currently going waste, small dam/storage reservoirs need to be constructed wherever feasible.

Economical methods to control evaporation from reservoirs should be developed. Considerable research effort needs to be focused on development and use of economic methods to sluice sediments from the beds of existing reservoirs. Methods to control sediment entry into reservoirs and canals need exploration.

7.4 Improving Recharge to Fresh Aquifers: The recent drought

has highlighted the importance of groundwater to meet the challenges of depleting surface water resources. Consequently freshwater aquifers are coming under great stress. Appropriate methods of artificial recharge should be identified, evaluated and implemented by starting pilot projects.

- 7.5 Awareness Campaigns: Most of the problems associated with the water sector have risen from illiteracy and lack of knowledge. There should be initiated programmes for awareness of general public and users for water conservation and management. It is crucial that water be treated as an economic good.
- 7.6 Improvement of distributaries, minors and watercourses: Improvement should be given more impetus by lining them with appropriate lining materials and installation of control structures for distribution of water. This is necessary as such technologies can enhance conveyance efficiencies, which are presently around 55% by almost 25%.
- 7.7 Rainwater Harvesting: Our neglected deserts are our future land banks. The groundwater in the desert areas of Pakistan is generally saline. Rainfall is the only source of freshwater in these areas. The fresh source of rainwater could be collected by adopting "Rainwater-Harvesting Techniques" and by using appropriate interventions to store and utilize water. Water available, besides fulfilling domestic and livestock needs, could be used for developing small-scale agriculture.
- 7.8 Use of Sewage Water: The main non-conventional source of water is sewerage from cities and towns. Presently, it is being disposed off directly into streams and rivers, which is not only polluting the fresh water but also resulting in wastage of water. Treated sewage water could be used on large scale for irrigating different crops and for groundwater recharge where water table is rapidly declining due to huge withdrawal of groundwater. The adoption and implementation of WHO guidelines on wastewater use is desirable.
- 7.9 Water Quality – Assessment: Water pollution is becoming diverse and complicated, and it is expected to increase in future. A properly designed and implemented national water quality-monitoring programme should be carried out to assess the condition of both surface water and ground water. Preparation of inventories for treated and untreated waters and development of standards of disposal and new techniques of waste disposals need to be developed to control water pollution.
- 7.10 Saline Agriculture: Use of saline effluent to produce commercially valuable crops is being pursued in a number of countries. In conjunction with the canal water, low quality groundwater can significantly increase the irrigation water supplies. The saline groundwater extensively available in various parts of Pakistan should be made best use of through developing conjunctive use methodologies and change of crops etc.
- 7.11 Establishment of Improved Flood and Drought Forecasting Mechanism: The forecasting mechanism for flood and drought should be improved, for saving precious life and

land. It is of utmost importance to develop efficient models for predicting floods and droughts in different river basins.

REFERENCES

- [1]. Ishfaq A. (2002), Water and New Technologies, Global Change and Impact Studies Centre, Islamabad, Pakistan, p 1-25,41.
- [2]. Waterbury John (1979), *Hydropolitics of the Nile Valley*, Syracuse, N.Y., Syracuse University Press.
- [3]. Tom Gardner-Outlaw and Robert Engelman (1997), *Sustaining Water-Population and the future of Renewable Water Supplies, Second Update*, Washington D.C., Population Action International, p 5.
- [4]. Murakami M. (1995), *Managing Water for Peace in the Middle East: Alternative Strategies*, The United Nations University Press, p 45-52.
- [5]. Younus K. (1990), *Boundary Water Conflict Between India and Pakistan*, Water, Volume 15, No. 4, December 1990, p196.
- [6]. Tarar R. N. (1999), *Surface Water Achievements and Issues in 20th Century*. Proceedings of National workshop on Water Resources Achievements and Issues in 20th Century and Challenges for the Next Millennium, Islamabad, Pakistan.
- [7]. Ahmad. Nazir Dr. (1993), *Irrigated Agriculture of Pakistan*. Shahzad Nazir Publishers Lahore.
- [8]. UN (2003), *United Nations World Water Development Report, Water for People, Water for Life*, p 78.
- [9]. Zester, I. and Margat, J. Forthcoming, *Groundwater Resources of the World and Their Use*. Paris, United Nations Educationl, Scientific and Cultural Organization/International Hydrological Programme Monograph.
- [10]. Burke, J.-J. and Moench, Moench, M.-H. (2000), *Groundwater and society: resources, tensions and opportunities*. United Nations Publication ST/ESA/205.
- [11]. WAPDA (1990), *Water Sector Investment Planning Study*, Water and Power Development Authority, Pakistan.
- [12]. MINFAL (2002), *Agriculture Statistics of Pakistan*, Ministry of Food, Agriculture and Livestock (MINFAL), Government of Pakistan, 2001-2002.
- [13]. Kahlown M.A. and Maheed A. (2001), *COMSATS 1st meeting on Water Resources in The South: Present Scenario and Future Proposals*, November 2001, Islamabad, Pakistan.
- [14]. World Bank (2001), *World Development Indicators (WDI)*, Washington DC.

<解説論文>

21世紀の緊急課題「水問題」

その2：地球環境問題、そして水問題とは何か？

川崎 良一*

“WATER” an Urgent Issue at the 21st Century

Part II. What is “Global Environmental Issue”, or “Water Issue”

Ryoichi KAWASAKI*

* Sanyu Consultants Inc., Tokyo, Japan

Abstract

Recently, “Water Issue” of the World, or of the 21st Century, is extensively argued in many countries in the world. What is the “Water Issue” in the 21st century? We shall adopt to solve many problems which have been created through the rapid and disordered water resources development in the 20th century. While international society is trying to solve the problems by taking into account of the poverty and water security in the developing countries. The previous paper (Part I, Water and Environment Perspectives in the 20th Century) reviewed the global perspectives of water and environment problems, which have been discussed in a series of world congress in the end of 20th century. The paper, on the basis of such reviews, considers the actual conditions of the Global Environmental Issue or Water Issue, and examines their essences, deducing the final destinations of those problems.

Key words: World Environmental Issue, Water Issue, Fresh Water Resource, Water Shortage, Measurement of Water Shortage

要旨

近年、地球規模及び21世紀の「水問題」が声高に論じられている。では、21世紀の水問題とは何であろうか？これはお端的に言ってしまえば、20世紀後半に行われた、急激かつ無秩序な水資源開発の「つけ」の一部が21世紀に回ってきたと言えよう。本論は20世紀を環境及び水問題に絞って振り返り、その中から21世紀の「地球環境問題」及び「水問題」の課題が何であるかをグローバルな貧困問題と水資源の安全保障問題の視点から考察することが目的である。国際社会はこの水問題を解決すべく種々の努力を行ってきたし、これからもさらなる努力を重ねようとしている。本論はこうした世界の動きを踏まえつつ、前編（その1、20世紀の水と環境の略史）に続き、「地球環境問題」とは、そして「水問題」とは何であるのかその実態を探りつつ、その本質とこれらの問題の行き着く先を総括する。

キーワード：地球環境問題、水問題、淡水資源、水不足、水不足を計る

* 株式会社 三祐コンサルタンツ, 海外事業本部 〒170-0004 東京都豊島区北大塚 1-13-17 HIB 大塚2F

1. 地球環境問題とは？

今世紀に入って以来、国連を中心に毎年地球環境に関する国際的な会議が開かれ、昨年(2003年)の春には京都で「第3回世界水フォーラム」が行われた。これは20世紀末からの引き続いた傾向である。また、昨年は「国際淡水年」に指定されている。以下に1990年以降に開かれた環境(及び水)に関する国際会議を列挙する(2) (詳細は、前編「20世紀の地球環境略史」を参照されたし)。

- ・1990:「90年代の水と衛生に関する国際会議」(ニューデリー)
- ・1992/1:「水と環境に関する国際会議」(ダブリン)
- ・1992/6:「国連環境開発会議(地球サミット)」(リオデジャネイロ)
- ・1995:「国連社会開発サミット」(コペンハーゲン)
- ・1997/3:「第1回世界水フォーラム」(マラケシ)
- ・1997/6:「国連環境開発特別総会」(ニューヨーク)
- ・1997/12:「地球温暖化防止京都会議(COP-3)」(京都)
- ・2000/3:「第2回世界水フォーラム」(ハーグ)
- ・2000/9:「国連ミレニアムサミット」(ニューヨーク)
- ・2001:「国際淡水会議」(ボン)
- ・2002:「持続的開発に関する地球サミット」(ヨハネスブルグ)
- ・2003: 国際淡水年
- ・2003/3:「第3回世界水フォーラム」(京都)

このように頻繁に会議がもたれ、今やトレンドとも言える「地球環境問題」とはいったい何であろうか？

「OECD 世界環境白書、2020年の展望(Environmental Outlook): Fig 2-1」³⁾では、迅速な取り組みが必要とされる「赤信号」にある環境の状態として、①生物多様性、②熱帯林被覆、③漁業資源、④地下水の質、⑤都市部の大気質、⑥気候変動、及び⑦環境中の化学物質、を挙げている。2000年の到来を迎えた我が国の「平成12年版環境白書」⁴⁾では、その序章で「地球環境のマクロ的変貌と将来予測」として、①地球温暖化は確実に進行している、②森林の減少・劣化は途上国で顕著である、③土壌劣化や砂漠化が乾燥地帯で進行している、④生物多様性が熱帯地域で急激に減少している、⑤水資源の安定的利用が難しくなりつつある、及び⑥エネルギー資源の枯渇が懸念される、を挙げている。また、世界的なシンクタンクであるワールドウォッチの「地球白書2000-01(State of the World)」⁵⁾では、第1章「新世紀の課題」の中で、新世紀の進路を決める環境動向として、①人口増加、②気温上昇、③地下水位の低下、④漁場の崩壊、⑤森林減少、そして⑥動植物種の絶滅、とを列挙している。これら3種の環境白書に共通するのは①地球



Fig 2-1 OECD 世界環境白書

温暖化問題(気候変動含む)、②森林(熱帯林含む)被覆の減少、③生物多様性の減少(種の絶滅)、④水資源(地下水含む)の不安定化である。OECDとワールドウォッチとは、これに⑦漁業資源の減少が加わり、日本の環境白書ではこれらに⑧土壌劣化・砂漠化と、⑨エネルギー資源の枯渇を心配している。ワールドウォッチは、更に「人口増加」の問題を挙げているが、これは全ての地球環境問題の根底にある問題で、同列には論じられないと考える(後述)。また、

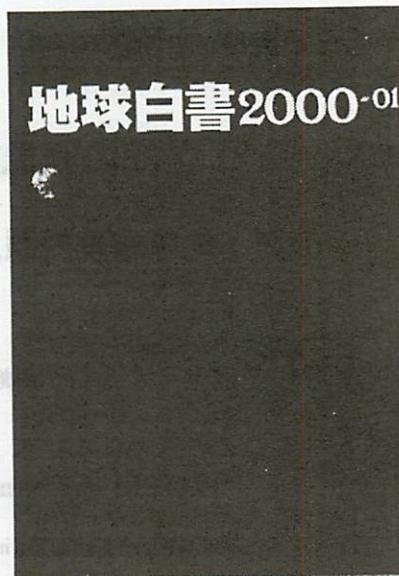


Fig 2-2 「地球白書」(ワールドウォッチ)

OECD 白書の挙げる「都市部の大気質」、及び「環境中の化学物質」は、言わば産業公害であり、ある地域では今問題であってもある地域ではそれを既に取り越えている地域もある。つまりはかなり地域的な問題であり、地球規模の環境問題とは言い難い(たとえそれが越境問題であっても…)

以上挙げた種々の問題は、相互に複雑に関係しておりそれほど単純ではないが、しかし更に集約すれば、(I)大気汚染→地球温暖化→気候変動(異常気象)→砂漠化・洪水・海面上昇という「大気・気候に係わる環境問題」、(II)水資源の乱用→淡水資源の枯渇→生物多様性の減少→食料安保と関連する「水に係わる環境問題」、そして(III)漁場の崩壊・森林被覆の減少・エネルギー資源の枯渇・環境ホルモンといった「産業のあり方に係わる環境問題」とに大別できる。そして、それらの全ての根底には爆発的に増え続ける世界の人口問題があり、また「南北問題」という社会的・政治的な問題が横たわっている。この地球上で既に60億を越えた人間の活動こそが全ての地球環境問題の根源であり、それ故に、こうした切実な環境問題を解決するのもまた人類の務めである。Iについては、その解決に向けて世界の英知を集め、「気候変動枠組み条約締結国会議」を通じて協議がなされている。次ページ Fig 2-3 に、大気汚染から始まる複雑な環境問題の関連を、ごく単純化して示す。また、IIIの問題については、現在世界中で鋭意その解決に向けて努力中であり、一部の国や地域では既にこれらを克服しつつある。よって、本論では主に II. 水に係わる環境問題を取り上げたい。

2. 水問題とは？

水問題とは、前節で述べたように地球上の「水に係わる環境問題」全般を、一括りに言ったものと解釈すると、かなり多岐にわたる事象・問題が含まれる。その中には、人間に係わる問題だけでも旱魃と洪水、水質汚染、地下水汚染、過剰揚水と地下水位の低下等の自然事象あるいは物理的現象から、国際河川をめぐる紛争、交易を通じたヴァーチャル・ウォーターの移動等の社会的現象まで含まれる。Fig 2-4 に、水に関連した環境問題をごく単純化した相関図として示す(ただし、ここでは大気・気候関連事象との相関は無視している)。しかし、20世紀末から急激にクロ-

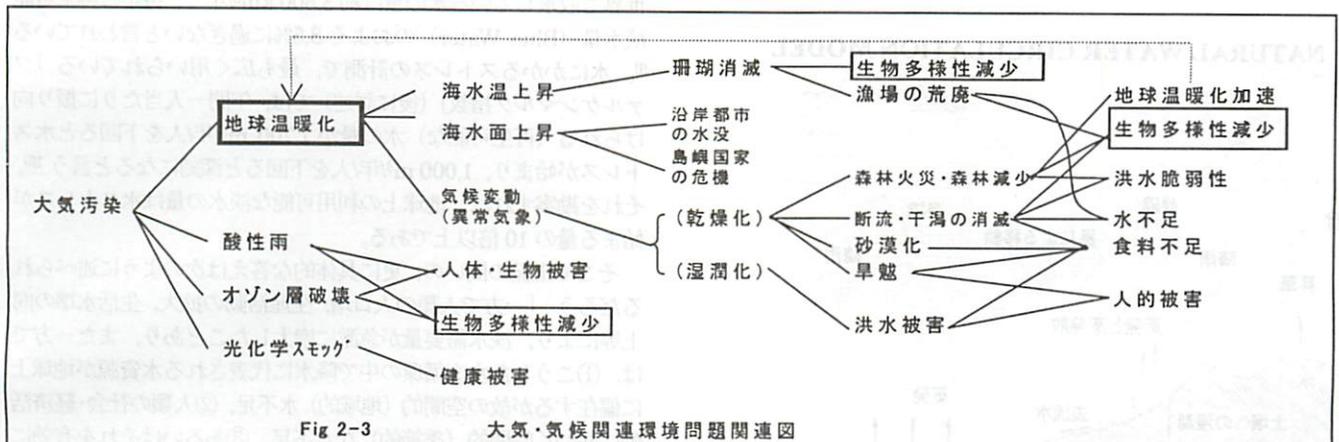


Fig 2-3 大気・気候関連環境問題関連図

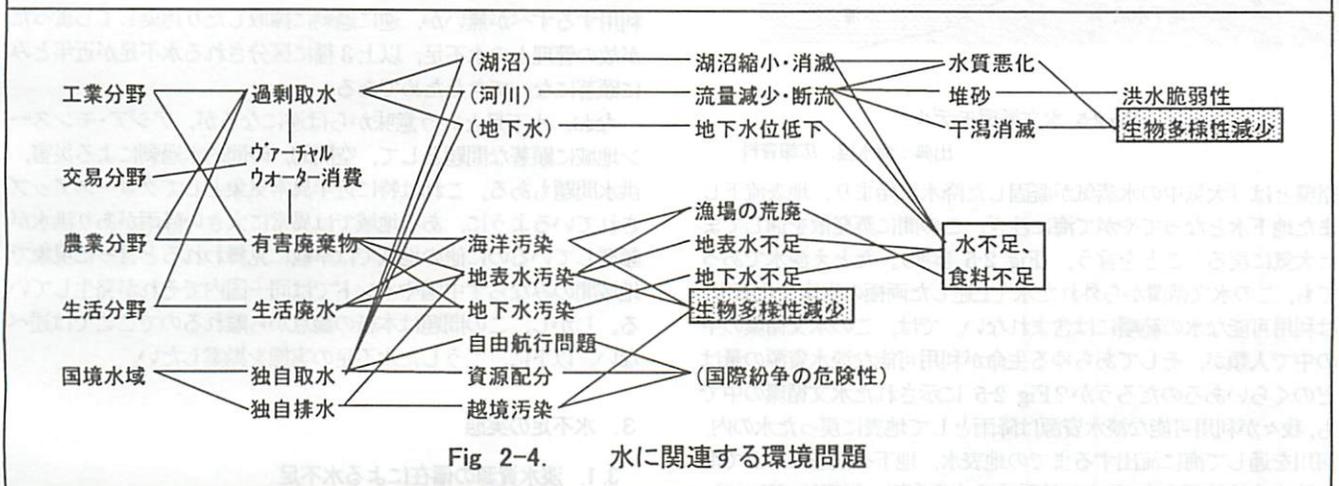


Fig 2-4. 水に関連する環境問題

ズアップされてきた、いわゆる「水問題」の根本的な事象は、「地球上の人類のための、否全生命体のための利用可能な安全な水資源が不足してきた」ということだと筆者は考える。地球上に有り余るほどの淡水資源があれば、必要な農業用水と生活用水を取水してもまだ十分な水を工業用に回しさらに生態系を維持する流量を賄えよう。そうすれば過剰なダム建設も必要なく、上下流問題も国際紛争も起こらない。地下水を過剰に汲む必要もなく地下水位を一定に保つことも可能である。また、決して良いことではないが、淡水資源量が十分にあるならば地表水・地下水とも汚染に対する許容量も大きいだろうし、代替水源の確保も容易である。つまり、ほとんどの水に係わる環境問題は発生しないであろう。かつて人類は水資源とはそういう無尽蔵なものだと思ってきたのである。

水には地球上に存在する他の資源と異なる根本的な特徴が二つある。第一は水があらゆる生命にとって不可欠なものである事、そして第二はほとんどの場合、その代用となるものが無いという事である⁶⁾。

また、一口に水と言ってもいろいろある。「水の惑星」と呼ばれるように、この地球上には膨大な量の水がある(約 14 億 km³)。しかしその大部分、およそ 97.5%は海洋等に分布する塩水であり淡水はその内の 2.5%、量にして約 35 百万 km³にすぎない。しかもそのわずか 2.5%の淡水の内 7 割以上が南北両極や高山・永久凍土等に氷雪として固定されたものである。つまり人類が、そして多くの生物がそのままの形で利用可能な淡水は地球上の水のわずか 0.8%、およそ 10,251,000 km³にすぎない (Tab 2-1 参照)。⁷⁾以後本紙で水問題という時は、特別に断らない限りそれは「利用可能な淡水」、別の言葉で言えば後述する「地球上の水文循環の中で流動する水」に関する事を言う。しかし、この約 10.3 百万 km³という量はどのくらいの量なのであろうか?もし、これを

地球上の全陸地表面 (147.2 x 10⁶km², 南極大陸含む)⁸⁾に均等に広げると、約 69.6mの水深になる。これはまた、20 世紀末の世界の全人口 60 億人で割ると、一人当たり実に 1,708,500 m³/人もの量となる。この量は一人一人の人間が使う量から比べれば極めて大きな量であり、地球上の淡水資源も絶対量からすればまったく問題は無いと言うことができる。事実ごく最近までは、歴史的に水不足に悩まされてきた一部の乾燥地帯を除けば、水は空気と同じく地球上にふんだんにある、いわば無尽蔵な資源と思われる

Tab 2-1. 地球上の水の量

水の種類	量(10 ³ km ³)	百分率(%)
塩水		
海水	1,349,929.0	97.5
塩水湖	94.0	0.007
淡水		
氷雪	24,487.4	1.75
淡水湖	125.0	0.009
河川	1.2	0.0001
土壌水	25.0	0.002
地下水	10,100.0	0.72
水蒸気	126	0.001
生物	1.2	0.0001
その他	-	0.00108
合計	1,384,775.4	100

出典: 権根勇「水の循環」共立出版

してきた。

では、今なぜ水不足なのか?まずその総括的答えは、「人類が地球上の水が無尽蔵ではないことにより気が付いた」ということである。上述したように、地球上には淡水資源だけをとりても、膨大な量がある。しかし、人類が使っても良い水資源

は、その内の持続可能な開発量 (Sustainable Development) の範囲内で無ければならない事、しかも、水を必要とするのは人類だけではなく、地球上のあらゆる生命がやはり水を必要としていることにも気が付いたのである。幸いなことに水資源は「再生可能 (Renewable)」な資源である。別の言い方をすれば、水は地球上の「水文循環」の中で毎年再生されていく資源である。水文

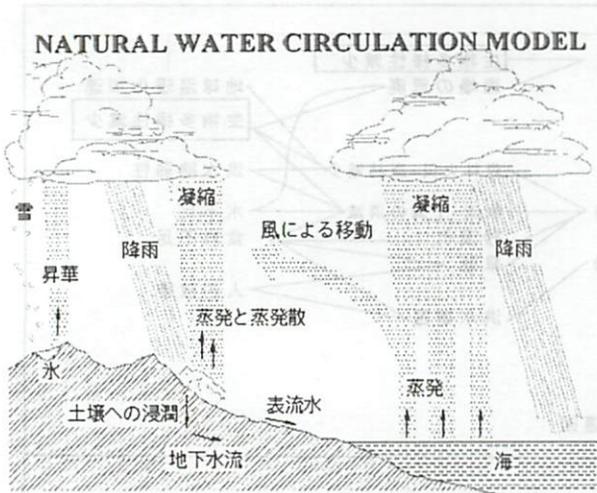


Fig 2-5 水文循環モデル

出典：海水協，広報資料

循環とは「大気中の水蒸気が凝固した降水に始まり、地表流下しまた地下水となってやがて海に注ぎ、この間に蒸発散を通じてまた大気に戻る」ことを言う、(Fig 2-5 参照)。たとえ淡水であっても、この水文循環から外れた水(上述した両極の水床や化石水)は利用可能な水の範疇には含まれない。では、この水文循環の中で人類が、そしてあらゆる生命が利用可能な淡水資源の量はどのくらいあるのだろうか? Fig 2-5 に示された水文循環の中でも、我々が利用可能な淡水資源は降雨として地表に戻った水の内、河川を通して海に流出するまでの地表水、地下へ浸透しやがて海に流出する地下水(これらの流動する水を「青い水(Blue Water)」と言う)、そして一時的に土壤中に留められる保留水だけである(この土壤保留水を「緑の水(Green Water)」と言う)。この青い水と緑の水の合計が、人類がそして他の生命が利用可能な淡水資源である。膨大な量ではあるが、蒸発散あるいは雲のように、大気中の水分はほとんどの場合人間は利用することはできない(稀に海霧利用プロジェクトがある)。人類が利用できる水資源の量は、当然ながらその気候条件によって毎年変動する。しかし、この量は平均すれば Tab 2-2 に示されるように、Blue Water がおよそ 42,600 km³/年、Green Water がおよそ 60,000 km³/年、合計約 10 万 km³/年となり、上述した地球上の淡水資源賦存量からするとかなり小さくなる。それでも、この量は人類のみに配るとすればおよそ 17,100 m³/年/人となる。洪水として一気に海にまで流れてしまう水があるように、Blue water の全てが利用可能な訳ではないが、それでもまだかなり余裕があるようにも見える。現に、今実際に全

Tab 2-2. 循環する水の量

水の種類	量(10 ³ km ³)	百分率(%) ^{*1}
蒸発量		
陸上 ^{*2}	74.2	0.0054%
海上	502.8	0.0363%
降雨量		
陸上	119	0.0086%
海上	458	0.0331%
流出量(Blue Water)		
地表水	42.6	0.0031%
地下水	2.2	0.0002%
現取水量		
地表水	3.2	0.0002%
地下水	0.6	0.0000%
土壤中の水 (Green Water)[*]		
	60	0.0043%

*1: 地球上の全水量に対して
*2: 発熱量を含む
*3: 参考値、「世界水ビジョン」による

出典:「地球水資源の管理技術」

世界で取水している水の量は約 3,800 km³/年で、毎年の再生可能淡水量(Blue Water)のおよそ 8.5%に過ぎないと言われている⁹⁾。水にかかるストレスの計測で、最も広く用いられている「ファルケンマーク指数」(後に詳述)では、年間一人当たり振り向けられる(再生可能な)水の量が 1,700 m³/年/人を下回ると水ストレスが始まり、1,000 m³/年/人を下回ると深刻になると言う¹⁰⁾。それを勘案すれば、地球上の利用可能な淡水の量は水ストレスが始まる量の 10 倍以上である。

そこで上記の問いの、更に具体的な答えは次のように述べられるだろう:「一方で人類の人口増、生産活動の拡大、生活水準の向上等により、淡水需要量が急激に増大したことあり、また一方では、①こうした水文循環の中で降水に代表される水資源が地球上に偏在するが故の空間的(地域的)水不足、②人類の社会・経済活動に基づく時間的(季節的)な水不足、③あるいはそれを有効に利用するすべが無いが、逆に過剰に採取したり汚染してしまったが故の管理上の水不足、以上 3 種に区分される水不足が近年とみに顕著になってきたためである」。

なお、水不足という意味からは逆になるが、アジア・モンスーン地域に顕著な問題として、空間的、時間的水過剰による災害、洪水問題もある。これは特に近年異常気象としてクローズアップされているように、ある地域では異常に大きい降雨があり洪水が頻発しているのに他の地域では旱魃に見舞われると言った現象で、地域間のみならず中国やインドでは同一国内でそれが発生している。しかし、この問題は本紙の論点から離れるのでここでは述べない。以下に、こうした水不足の実態を勘案したい。

3. 水不足の実態

3.1. 淡水資源の偏在による水不足

上述したように、水の偏在には二通りの意味がある。位置的な、つまり空間的な偏在と、季節的な、つまり時間的な偏在である。

空間的偏在

ケッペンの気候区分図に示されるように、地球上にはアフリカ～中近東、アジア中央部、およびオーストラリアにかけてかなりの範囲に乾燥気候が分布する(Fig 2-6 参照)。乾燥気候帯は、更に砂漠気候(BW)とステップ気候(BS)とに区分される。これらの地域では、ステップ気候帯で年間 500mm 以下、砂漠気候帯では 250mm/年以下の降水しかない絶対的な水不足地域である。しかし、こうして地域にも国があり人が住んでいる。空間的水不足とは、こうしたもともと水資源に乏しい地域に人が住む故の水不足である。この範疇の水不足を代表するのが、アフリカや中近東の砂漠地帯を国土とする、モーリタニア、リビア、ヨルダン、あるいは多くの湾岸諸国等である。後述するが、多くのサブサハラ諸国ではもともと水資源が少ない上に、その乏しい水資源を有効に開発し、住民に供給するための資金も技術も無く、更に一層悲惨な状況に陥っていることが多い。

一方で地球上の水資源は、かなり多くの部分が南米アマゾン流域や、北米カナダ・アラスカ等人間による水需要の少ない地域に存在している。まさに地球上の水の偏在である。

時間的偏在

空間的には水資源にある程度恵まれた地域であっても、明確な乾・雨季がある場合、その乾季に水不足となることがある。人間が生きるために必要な水の量はほぼ年間を通じて一定であるが、水需要の最も大きな部門は農業部門(灌漑用水)であり、これが全水需要量のおよそ 7 割を占める¹¹⁾。灌漑用水の需要量は、作物の生育過程に従い(北半球では)春から夏に向けて最大となる。それ故雨季が秋冬になる場合には、年間降雨量は十分であっても灌

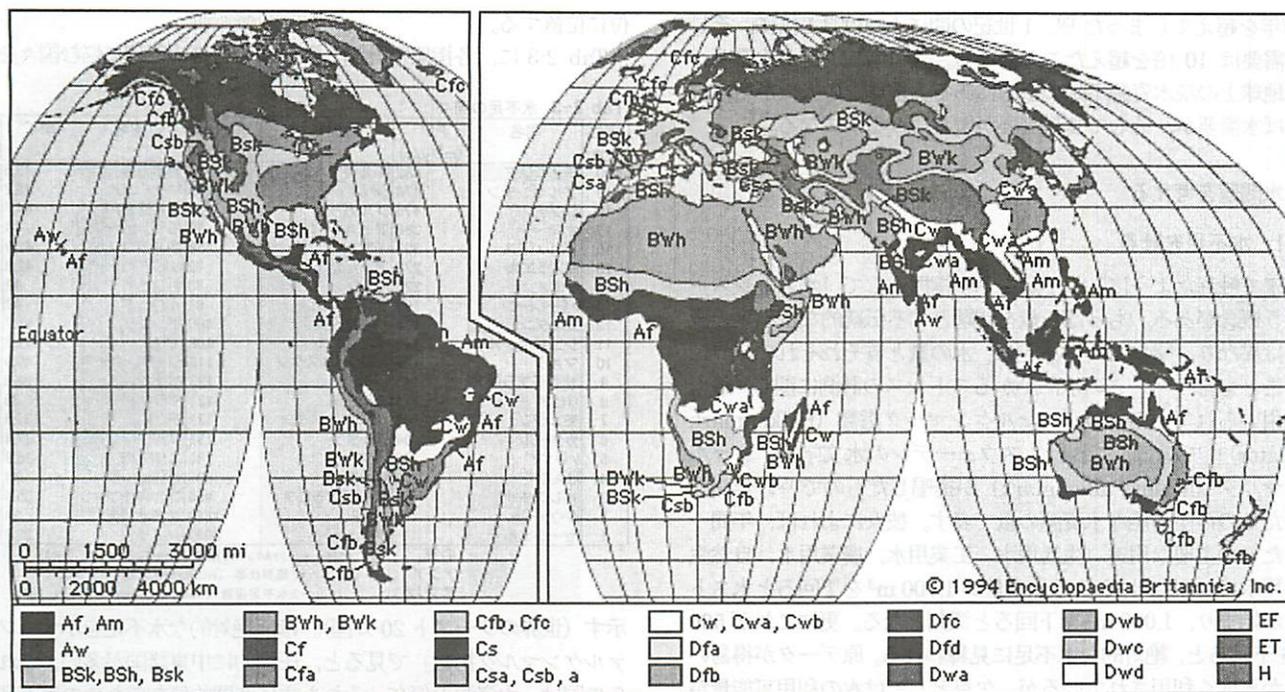


Fig 2-6 ケッペンの気候区

出典 : <http://clem.msdc.edu/~wagnerri/Climatology/koppen.gif>

概に利用できる水が足りず水不足となることがある。これが時間的な水不足である。こうした水不足を典型的に示すのは温帯夏季少雨気候 (Cs), いわゆる「地中海性気候」の、ギリシャ、レバノン、シリア等の国々である (Fig 2-6 参照)。

また、水需要と降雨の時期が一致していても、アジアのモンスーン地帯のように降雨が非常に短い期間に限られ、ダムや帯水層、タンク等何らかの手段でこれが貯えられないかぎり、そのほとんどが無為に海へ放流されたり、逆に災害 (洪水) を起こしてしまう。これもせつかくの水資源が有効に利用できないという意味で時間的な水不足であり、かつ見方を変えれば「時間的な水過剰」でもある。インドやバングラデシュがこの典型的な例である。

3.2. 管理的な水不足

年間を通じて十分な、あるいは十分とは言えないまでもある程度の水資源に恵まれていながら経済的、技術的、又は政治的理由から取水・給水施設が未だ整えられないための水不足がある。これを管理上の水不足と呼ぶ事にする。これを代表するのは貧困とそれに伴う人的・技術的資源の不足故に、また戦乱の故に給水開発の進まない多くのアフリカ諸国 (特にサブサハラの国々) とアジアの一部の国が含まれる。「世界水ビジョン」では、「経済的水不足 (Economic water scarcity)」と言う概念を示している。これは「自国のニーズに応ずるに十分な水資源を持つてはいるが、2025年のニーズに応ずるには、貯水施設の増強、運搬、法令制度により水の供給を25%以上増やさなくてはならない状態で、これを満たすには深刻な財政危機と能力上の問題に見舞われる」¹²⁾としており、かなりこの管理的な水不足の概念に近い。

こうした水資源未開発の国々とは逆に、十分な経済力も技術も有しながら無計画に河川水を収奪し、また地下水を過剰にみ上げて資源の枯渇を招いてしまったが故の、あるいは水資源を人為的に汚染してしまったが故の、いわば結果的に水不足をきたしている国々もある。これも管理上の水不足の範疇に入り、多くの中先進諸国がこれに含まれる。しかし、これらの国々では、現在自らの努力でこれらの行き過ぎを必死に是正している最中であると言える。

3.3. 水需要の増加

19世紀に入ったとき、世界の人口は約10億であった。20世紀に入った時点でもそれは16億人に過ぎなかった。それが第二次世界大戦の後爆発的に増加を続けている。1950年に25億人、1976年に40億人、そして1999年には実に60億人を突破してしまった。21世紀には入り、先進諸国の人口増加率が著しく下がったため、総人口の伸びはやや鈍ったものの、アジア・アフリカ諸国の人口増は止まらず、このまま増加を続けければ世界人口は2025年に約80億、2050年には93.2億人になると推定されている (Fig 2-7 参照)。こうした人口増と、同じく20世紀後半からの目覚ましい工

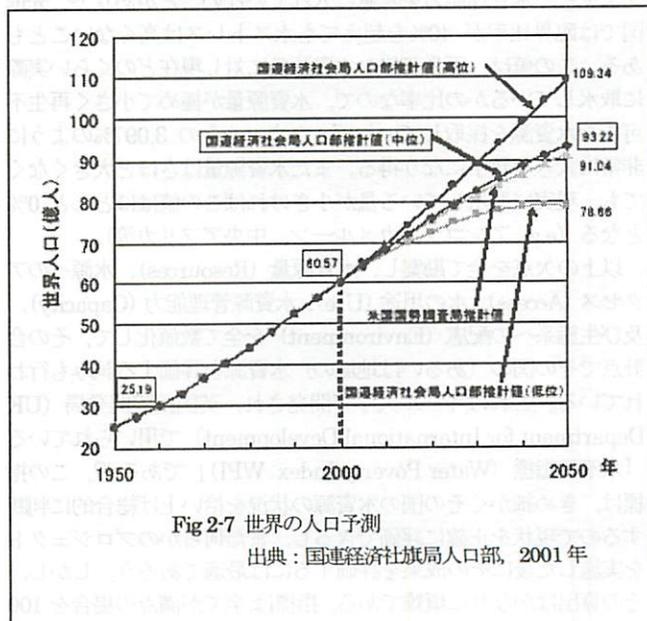


Fig 2-7 世界の人口予測

出典 : 国連経済社会局人口部, 2001年

業発達、そして「緑の革命」と呼ばれる著しい灌漑農業の発達のため、世界の水需要は1990年の500 km³/年から1940年には1000 km³、1960年には2000 km³に、そして2000年には5,000

km³/年を超えてしまった¹³⁾。1世紀の間に人口は3.1倍に、そして水需要は10倍を超えたことになる。人口増加こそが水環境、特に地球上の淡水資源不足の根底にある。地球上の人口が増え続ければ水需要が、そして食料需要が増え続ける事になる。

4. 水問題を考える

4.1. 水不足を計る

前章で触れたように、水不足を示す指標として「水ストレス」という概念がある。もっぱら量を問題とする伝統的な水不足の概念とは異なり、「水ストレス」とは、水の量と質それぞれの限界に迫ることを言う¹⁴⁾。この水にかかるストレスの計測に関し、最も広く用いられているのが「ファルケンマルク指数 (Falkenmark indicator)」である。これは、スウェーデンの水文学者、ファルケンマルク (Malin Falkenmark) が提唱したもので¹⁵⁾、年間一人当たりの再生可能な水資源の量で表す。彼女によれば、年間一人当たりの主要な用途 (生活用水、工業用水、農業用水、自然生態系用水) に振り向けられる水の量が1,700 m³を下回ると水ストレスが始まり、1,000 m³を下回ると深刻となる。更にこれが500 m³を下回ると、絶対的な水不足に見舞われる。原データが得易いことから広く利用されているが、欠点としては水の利用可能量が変動することや実際の使用量を考慮していない点が挙げられる。同様の定義で、1,000 m³を世銀やWHOも水不足の定義に採用している。この指数では、単純に再生可能な水資源量を人口で割っているだけなので、最小はセーシェルのようにほとんど水資源が無い国のほぼ0から、ほとんど人口の無いグリーンランドの10,767,857 m³/年/人¹⁶⁾までの幅がある。

一方、使用量 (推定使用量) を考慮に入れた指標に、再生可能な水資源量に対して人間が取り込む水の量の比率を表す「臨界比率 (Critical ratio)」がある。これは国連の総合淡水評価で用いられている評価で、「高い水ストレス」を現すのに40%という閾値を用いる。この指標の長所は、理解しやすいこと、水資源の量と使用量の両方に基づいていることにある。しかし、この短所には取水量が必ずしも使用量を意味しないこと、水関連インフラストラクチャーや水管理能力を考慮に入っていないことがあり¹⁴⁾、先進国では臨界比率が40%を超えても水ストレスは高くないこともある。この値は、再生可能な水資源量に対し現在のくわい実際に取水しているかの比率なので、水資源量が極めて小さく再生可能な水資源を採取していれば、クウェートの3,097%のように非常に大きな数字になり得る。また水資源量はさほど小さくなくても、現実に取水している量が小さければこの値はほとんど0%となる (e.g. アンゴラ、カメルーン、中央アフリカ等)。

以上の欠点を全て勘案し、水資源量 (Resources)、水源へのアクセス (Access)、水の用途 (Use)、水資源管理能力 (Capacity)、及び生態系への配慮 (Environment) を全て数値化して、その合計点でその国の (あるいは地域の) 水資源を評価する試みも行われている。これはキール大学で開発され、英国国際開発局 (UK Department for International Development) で用いられている「水不足指標 (Water Poverty Index: WPI)」である¹⁷⁾。この指標は、きめ細かくその国の水資源の状況を拾い上げ総合的に判断するので現状を正確に評価できるし、また何らかのプロジェクトを実施した後にその成果を評価するには最適であろう。しかし、その算出はかなり煩雑である。指標は全てが満点の場合を100とし、全く水資源もインフラも無ければ0となる。現実には、全く水資源0という国は無いので、英国国際開発局の2002年の発表では最低がハイチの32.7、最大がフィンランド79.9となっている。ちなみに日本は64.2で、ランクされた141カ国の中で36

位に位置する。

Tab 2-3に、各指標で計測した、地球上の水不足に悩む国々を

Tab 2-3 水不足の国々

順位 (逆順)	国名	F.I. ^{*1} (m ³ /y/c)	国名	C.R. ^{*2} (%)	国名	WPI ^{*3} (-)
20	チュニジア	482	キルギスタン	55	セネガル	45.5
19	アルゼンチン	478	シリア	55	マケドニア	45.2
18	ジブチ	475	ブルガリア	58	ナイジェリア	44.7
17	オマーン	388	アゼルバイジャン	58	モザンビーク	44
16	バルバドス	307	イラン	59	中央アフリカ	42.9
15	イスラエル	276	アフガニスタン	72	リビア	42.8
14	イエメン	223	イラク	80	ガンビア	42
13	バーレーン	181	タジキスタン	81	ルワンダ	42
12	ヨルダン	179	パキスタン	100	アンゴラ	41.7
11	シンガポール	149	イスラエル	108	マリ	41.5
10	マルタ	129	トルクメニスタン	116	シェラレオネ	40.9
9	サウジアラビア	118	イエメン	123	ベナン	38.8
8	リビア	113	エジプト	127	マラウイ	38
7	モルジブ	103	ウズベキスタン	132	チャド	37.8
6	カタール	94	ヨルダン	151	ブルンジ	37.4
5	バハマ	66	オマーン	181	エリトリア	36.9
4	U.A.E	58	リビア	801	ニジェール	36
3	パレスチナ	52	サウジアラビア	955	ブルキナファソ	35.9
2	クウェート	10	U.A.E	1614	エチオピア	34
1	セーシェル	-	クウェート	3097	ハイチ	32.7

: 中東
: アジア
: アフリカ
出典: *1: ファルケンマルク指数 (UNESCO PRESS, 2003)
*2: 臨界比率 (WORLD RESOURCES, 2002-04)
*3: 水不足指数 (Keele Economic Research, 2002)

示す (世界のワースト 20 カ国)。ほぼ絶対的な水不足を示す「ファルケンマルク指数」で見ると、圧倒的に中東諸国が多い。これらの国は、水資源の偏在、それも主に空間的偏在のための水不足に悩む国々である。資源量に占める水取水量を加味した臨界比率では、中東諸国の他アジア、それも中央アジア諸国が目立って多くなる。これらの国は、同じく資源の偏在のための水不足であるが、空間的のみならず時間的な偏在の影響も、かなりを受けている。そして資源量のみならず、水源へのアクセス、インフラの状況等まで加味した WPI で見ると、今度は圧倒的にアフリカ諸国が多くなる。このほとんどは、管理上の水不足国と言ってよいだろう。

4.2. 極限に暮らす人々

前節で、いろいろな方法で水不足の程度を計測する手法を説明し、それらで計られた水不足に悩む国々を紹介した。しかし、いずれの方法でも指標として現されてしまうと、もう一つ水不足の現実が伝わらないきらいがある。

前に述べたように、水は人間にとっても他の多くの生物にとっても生きていく上で必要不可欠なものであり、しかも代用となるものが無い。水は食料とともに、人間の「基本的欲求 (Basic Human Needs)」の最も重要なものである。人間が生きていく上で、最低限必要な水の量は1日当たり 50 リットルとされている (飲料: 5、衛生: 20、水浴: 15、炊事: 10 リットル)。

それにもかかわらず、国連の推計によれば一人当たりの日供給量が 50 リットル以下の国は 62 カ国に及び、その総人口は 21.5 億人に達していると言う。更に、日供給量がこれよりもはるかに少なく、20 リットル/日/人に満たない国は 33 カ国あり、その内の 70%にあたる 23 カ国はアフリカにあり、さらには 22 カ国がサブサハラに属

Tab 2-4 極限の国々

国名	人口 (百万人)	水資源量 m ³ /年/人	日給水量 ?/日/人
ガンビア	1.24	17,724	3
ハイチ	7.82	1,407	3
ジブチ	0.69	14	4
ソマリア	11.53	738	6
マリ	12.56	4,936	6
カンボジア	11.21	44,424	6
モザンビーク	19.56	2,965	7
ウガンダ	22.46	2,938	8
タンザニア	33.69	2,256	8
エチオピア	69.99	1,572	9
アルバニア	3.49	6,017	9
ブータン	2.03	46,839	10
チャド	7.27	5,227	11
中央アフリカ	3.64	38,736	11
コンゴ(DRC)	50.34	15,498	11
ネパール	24.35	6,984	12
ルワンダ	7.67	822	13
レソト	2.29	1,747	13
ブルンジ	6.97	516	13
アンゴラ	12.80	12,344	14
日本	126.93	3,386	322
アメリカ	284.10	8,722	425

出典: 『水の世紀』村上雅博

している¹⁸⁾。しかも、これらの国々は必ずしも水資源量が少ない訳ではない。Tab 2-4に、1日当たりの給水量が20リットル/人未満の国と、その水資源量とを示す。同表に示されるように、主にアフリカの多くの国では生きていくのに最低限必要な飲料水にさえ十分に得られない人々が住んでいる。

こうした極限に近い環境に住む人々以外でも、十分な量の水に恵まれない人々はやむを得ず濁った水、清潔ではない水、あるいは汚染された水を利用することになり、水因性疾患に罹病する危険性が非常に高くなる。家族の内誰かが罹病すると、医療費の出費のみならず家族全体の生産性がたちまち衰えて貧困化する。貧困は更に安全な水へのアクセスを遠ざけ、ますます罹病率を高める。こうして貧困と水不足の悪循環が始まる。都会に住む人々でも、貧しい人たちは水道を引くことができず、水売りからあまり清潔でもない水をバケツで買うことになる。ところがこうした民間水販売業者からの水は、かえって公営の給水施設からの水よりも数倍から数十倍も高いことが多い。つまり、「貧しいことは高くつく」という事になり、ここにも貧困と水との悪しき関連が見られる。

「世界水ビジョン」では、「世界人口の内、信じられないほど多数の人々（5人に一人）が、安全で手ごろな価格の飲用水を供給されておらず、世界人口の半分は衛生設備が利用できない。世界保健機構の統計（WHO, 1996）によると、毎年300～400万人が水系伝染病によって死亡し、その内200万人以上の小児が下痢によって死亡している」と述べている¹⁹⁾。

4.3. 総括（水問題の行き着く先）

以上述べてきたように、アフリカやアジアの途上国では、非常に多くの人々が水に、それも生きていくのに最低限の水へのアクセスに苦しんでいる。一方、欧米や日本といった先進国では20世紀後半の乱暴な水資源開発のツケが回ってきて、その後遺症に悩まされている。著しい工業発展は海洋汚染、湖沼汚染、更には地下水までも汚染した。奇跡的な灌漑農業の発展はダムにより河川を乱開発し、著しい流量の低下や断流現象を来し、河口部で干潟を消滅させていった。地表水源に陰りを見始めると、農業用水の対象は地下水に向けられ、また地下水を極めて乱暴に開発してきた。通常の帯水層は、その涵養量をはるかに超える揚水によって急激に水位を下げていった。もともと水資源に乏しい乾燥地域の国々では、涵養のほとんど無い化石地下水の開発を進め、回復不可能な傷跡を残している。水質汚染は、利用可能な淡水資源の量を減少させ、産業に脅威を与えると同時に、生態系に計り知れない影響を与える。地下水位の低下は揚水コストを押し上げ、農業生産に暗雲を漂わせると共に、農民の貧富の差を助長させる結果となる。

アメリカに「水は高きに流れる」という格言がある²⁰⁾。水に経済財の性格が明確に与えられた現在、工業・農業・生活用水といった主要な水需要分野間での水の取り合いが始まれば、当然水を高く買う分野に水資源は流れ、高い価値を付けられない分野は水不足に陥るだろう。また、経済的に余裕のある国は、水をまさに経済財として直接買うこともできるし、食料を輸入することによってヴァーチャル・ウォーターとして買うこともできる。そして、食料を輸出する多くの途上国では、乏しい水資源を外貨を得るために外国に売っているのである。

このように、水問題、特に水不足の行き着く先は、先進国では社会不安や国際紛争の激化、途上国では貧困と飢餓であり、世界はどうしても早急にこの問題を解決するため努力しなければならない。では、こうした最悪の事態をどうすれば防衛することができるのだろうか？本紙冒頭で挙げたように、多くの国際会議がこの問

題のために開かれ世界の英知が議論を闘わせてきた。次の論文では、この水問題に対する国際社会、先進国および途上国それぞれの責任と義務、及びその中で日本の果たしてきた役割を日本のODAの歴史と共に紹介し、この問題解決への道筋を探りたい。

参考・引用文献

- 1) 鳥居仁司 (2003) 地球環境問題史 : <http://www.gld.mmtr.or.jp/~torih/kankyou.htm>
- 2) 東京都 (2000) 東京都環境白書 資料集 III 環境保全関係年表、及び
外務省 (1999) 日本の途上国援助の軌跡 (1945～1999年) : <http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/oda99/gai/gai-13-6.html>
- 3) OECD 環境局 (2001) OECD 世界環境白書 2020年の展望 pp.7, 中央経済社, 東京
- 4) 環境省 (2000) 「平成12年版 環境白書」 : <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/>
- 5) レスター・ブラク/編 (2000) 「ワールドウォッチ」 地球白書 2000-01 pp.7-13, ダイヤモンド社, 東京
- 6) サトウ・ハチロー (2000) 「水不足が世界を脅かす」 pp.291, 家の光協会, 東京
- 7) 高橋 裕 (2001) 「地球の水があぶない」 pp.45, 岩波新書, 東
- 8) 松尾 新一郎 (1975) 「地形学」 pp.1, 技報堂出版, 東京
- 9) 森澤 真輔 (2003) 「地球水資源の管理技術」 pp.9, コロナ社, 東京
- 10) 川と水委員会編 (2001) 「世界水ビジョン」 pp.93, 山海堂, 東京
- 11) 農水省 (2002) 「世界の水資源とわが国の農業用水について」 pp.7 : http://www.moff/www/counsil cont/nousan sinkou/140930syo iin/s_4.pdf
- 12) 上記10) pp.94
- 13) 高橋 裕 (2001) 「地球の水があぶない」 pp.10 岩波新書, 東京
- 14) 上記10)と同。
- 15) Population Action International Sustaining Water "Population and Water Stress" : <http://www.cnre.org/pop/pai/water-12.html>
- 16) UNESCOPRESSE プレスリリース No.2003-16 : <http://www2.water-forum3.com/p-release/030305/030305j.pdf>
- 17) Keele Economic Research Papers (2002) "The Water Poverty Index": an International Comparison : <http://www.nwl.ac.uk/research/WPI/images/wpihandout.pdf>
- 18) 村上 雅博 (2003) 「水の世紀」 pp.21-22, 日経評論社, 東京
- 19) 上記10) pp.73
- 20) ジェフリー・ロスフェダー (2002) 「水をめぐる危険な話」 pp.169, 河出書房新社, 東京

<解説論文>

21世紀の緊急課題「水問題」

その3：水問題に係わる世界の動きと今世界が求められているもの

川崎 良一*

“WATER” an Urgent Issue at the 21st Century

Part III Efforts of the World Society for “Water Issue”

Ryoichi KAWASAKI*

* Sanyu Consultants Inc., Tokyo, Japan

Abstract

Recently, “Water Issue” of the World, or of the 21st Century, is loudly argued about. What is the “Water Issue” then? It must be, in simple saying, that the charge account of the rapid and haphazard water resources development in 20th Century has been just come down to us. The paper reviewed the 20th Century focusing on environment and water issues, discussed with “Global Environmental Issue” and “Water Issue”, and revealed the essence of the water issue. Then, the paper summarized the world’s efforts to save this issue through the reviewing of worldwide conferences and outcomes from them, together with the introduction of Japan’s ODA as one of the major donor with its short history and procedure. Farther, the paper introduced a preferable approach, obtained through the author’s experiences, to make up a water resources development plan in the area with poor basic hydrological data availability. The paper, continuously, suggested the urgent challenges to be done now, by both the developed and the developing countries, and finally showed the outlines of sustainable water resources development and management to be adopted in near future, for both traditional and nontraditional methodologies.

The paper consisted of five parts: Brief History of 20th Century for Environment, What is “Global Environmental Issue” and “Water Issue”, Efforts of the World Society for “Water Issue”, Water Resources Development Plan in the Area with Poor Basic Hydrological Data Availability, and Summary and Conclusion. This paper is Part III. of them.

Keywords: World Conference on Water Issue, Water Issue, Japan’s ODA, United Nation, OECF, World Bank, Asian Development Bank, ODA Charter, JICA

要旨

近年、地球規模の、あるいは21世紀の「水問題」が声高に論じられている。では、21世紀の水問題とは何であろうか？これは端的に言ってしまえば、20世紀後半に行われた、急激かつ無秩序な水資源開発の「つけ」が回ってきたと言えよう。本紙は、まず20世紀を環境及び水問題に絞って振り返り、その中から「地球環境問題」及び「水問題」が何たるかを考え、特に水問題の本質を明らかにした。国際社会はこの水問題を解決すべく種々の努力を行ってきたし、これからも行っていこうとしている。本紙では、こうした世界の動きを、幾多の世界会議とそれらの成果から総括し、またその一角を担う日本のODAを、その略史と共に基本姿勢や仕組みを紹介する。次いで筆者の経験を通して得られた、基礎的な水文資料の乏しい乾燥・半乾燥地域での地下水開発計画立案に係る知見を述べ、さらには国際社会全体としての努力と並行して、今個々の先進諸国が、そして発展途上国がまず何をなすべきかを提言した。最後に今後進めていくべき水資源開発と管理の方向を、従来の手法・非従来の手法を共に示した。

以上の事柄を述べるため、本紙は以下に示す5部から構成されている：①20世紀の環境略史、②「地球環境問題」そして「水問題」とは何か？③「水問題」に係わる世界の動き、④基本的な水文資料の乏しい地域での水資源開発計画、そして⑤総括、水問題に関し世界が求められているもの。本編は、その内の第③部である。

Keywords: 水に係わる世界会議、水問題、日本のODA、国連、OECF、世銀、アジア開発銀行、ODA大綱、JICA

1. 「水問題」に係わる世界の動き

1.1. 水問題に係る世界会議と、それらの成果

21世紀に持ち越された水問題に関し、今世界が求められているものは何であろうか？それを考えるには、まずこれまで世界の賢人たちが世界各地で話し合ってきた会議を振り返り、そこで示された宣言や行動計画を Review することが最も手取り早い方法であろう。

前章で述べたように¹⁾ 20世紀末から21世紀初頭にかけて、1972年の歴史的な「国連人間環境会議（環境サミット）」（ストックホルム）を皮切に、数多くの地球環境および水に関する国際会議が開かれてきた。その中で地球上の水、特に淡水に係わる国際会議で、その後の国際社会の政策、行動方針に大きく影響を及ぼしたと（私的に）考えられる重要な会議とそこからの報告・成果を列挙すると、以下のようなものがある（詳細は論文その1：20世紀の環境略史、第3章を参照されたい²⁾）：

- 1972年「国連、人間環境会議（環境サミット）」（ストックホルム）
 - 「ストックホルム人間環境宣言」
 - 「人間環境のための行動計画」→ UNEP 設立
- 1977年「国連、水会議」（マルデルプラタ）
 - 「マルデルプラタ行動計画」→ 「国連、水と衛生の10年」
- 1992年1月「水と環境に関する国際会議（ダブリン会議）」（ダブリン）
 - 「ダブリン宣言」
- 1992年6月「国連、環境と開発に関する国際会議（地球サミット）」（リオデジャネイロ）
 - 「リオ宣言」
 - 「アジェンダ21」
- 1997年「第1回世界水フォーラム」（マラケシ）
 - 「マラケシ宣言」
- 2000年3月「第2回世界水フォーラム」（ハーグ）
 - 「世界水ビジョン」
- 2000年9月「国連、ミレニアムサミット」（ニューヨーク）
 - 「国連ミレニアム宣言」
- 2001年12月「国際淡水会議」（ボン）
 - 「閣僚宣言」
- 2002年8月「持続可能な開発に関する世界サミット（WSSD）」（ヨハネスブルグ）
 - 「実施計画文書」
 - 「ヨハネスブルグ宣言（政治宣言）」
- 2003年「第3回世界水フォーラム」（京都）
 - 「世界水発展報告書」

以下に、それぞれの会議や行事で採択された宣言、及び行動計画の内容を簡単にまとめてみたい。

(1) 「国連、人間環境会議（環境サミット）」

1972年6月、スウェーデンのストックホルムで開催された「国連人間環境会議（UN Conference on the Human Environment）」は、史上初めて開催された世界規模の環境に関する会議で、通称「環境サミット」と呼ばれる。ここで初めて国際社会は「かけがえの無い地球（Only One Earth）」というコンセプトの下、「環境に関する権利と義務」、「天然資源の保護」、「更新可能な資源」、「野生生物の保護」、「海洋汚染の防止」等々を内容とする「人間環境宣言（Declaration of the United Nations Conference of the Human Environment）」を採択し、これに向けた行動計画を策定した。

同時に、以後10ヶ年毎に環境会議を行うことも決めている。しかし、この会議は越境した、あるいは地球規模の公害問題を話し合ったもので、特に水問題が取り上げられた訳ではなかった³⁾。

「人間環境のための行動計画」は、第1分野「生活環境」、第2分野「天然資源管理の環境的側面」、第3分野「国際的に重要な汚染物質の把握と規制」、第4分野「教育、情報、社会及び文化的側面」、第5分野「開発と環境」、第6分野「新機構の創設」から成り、107項に及ぶ具体的勧告を盛り込んでいる。そしてこの内第6分野「新機構の創設」勧告に基づいて「国連環境計画（United Nations Environment Programme: UNEP）」が設立されることになった⁴⁾。

(2) 「国連、水会議」

1977年3月、アルゼンチンのマルデルプラタで開催された「国連水会議（United Nations Water Conference）」が、水問題に議題を絞った最初の国際会議である。ここでは、水資源の利用・開発につき多方面からの検討が成されたが、特に宣言は採択されず、水問題の解決に資する国内及び国際レベルの行動勧告として「マルデルプラタ行動計画（Mar del Plata Action Plan: MPAP）」が採択された。この中で、1981～1990年を「国際水と衛生の10年（International Drinking Water and Sanitation Decade）」と定め、「1990年までに全ての人に清浄な水と衛生を」を目指すことを決めた⁵⁾。

(3) 「水と環境に関する国際会議」

「国際水と衛生の10年」が済んだ直後、1992年1月にアイルランドのダブリンで「水と環境に関する国際会議（International Conference on Water and the Environment）」、通称「ダブリン会議」が開催された。この会議では、4項目の基本理念（Guiding Principles）と10項目の行動指針（Action Agenda）からなる「ダブリン宣言（The Dublin Statement on Water and Sustainable Development）」が採択され、これが後述する「アジェンダ21」の第18章のベースとなった。

基本理念として、1) 淡水は、有限なまた冒されやすい資源であり、生命を、開発を、そして環境を維持していくために極めて重要なものである、2) 水資源の開発と管理とは、その全てのレベルにおいて、利用者・計画者・政策決定者の全てが関与する、参加型アプローチで成されるべきである、3) 女性は、水の調達・管理・保護等に中心的な役割を果たす、そして4) 水はその全ての用途の中に経済的価値を有し、経済財であると認識されるべきである、を挙げている。また行動指針としては、1) 貧困と疾病の軽減、2) 自然災害の防止、3) 水資源の保全と再利用、4) 持続可能な都市開発、5) 農業生産と水供給、6) 水圏生態系の保護、7) 水紛争の解決、8) 実施可能な環境作り、9) 知識ベースの整備、及び10) キャンパシティ・ビルディング、を挙げている⁶⁾。

(4) 「国連、環境と開発に関する国際会議」

1992年6月、ブラジルのリオデジャネイロにおいて、「国連、環境と開発に関する国際会議（UN Conference on Environment and Development）」が開催された。これは世界180カ国の代表が参加するという国連史上最大規模の会議となり、通称「地球サミット」とも呼ばれた。ここでは、持続可能な開発を実現するための原則を定めた「リオ宣言（Rio Declaration on Environment and Development）」が発表され、その具体的な行動計画である「アジェンダ21（Agenda 21）」が採択された。

アジェンダ21は、4部構成、全40章に及ぶ膨大な文書である。第I部は社会的・経済的側面、第II部は開発のための資源の保護と管理、第III部は主たるグループの役割の強化、そして第IV部は実施手段となっている。同行動計画の中で淡水資源に関

しては、その第Ⅱ部・第18章で上述「ダブリン宣言」をベースとして作成されているが、これだけで18.1から18.90までの90項を含み、A-4版で21ページにも及ぶ大部のものである。大きくは導入部(Introduction)と計画分野(Programme Areas)とに分けられ、計画分野では、A.統合的水資源開発及び管理、B.水資源アセスメント、C.水資源、水質及び水界生態系の保護、D.飲料水の供給及び衛生、E.水と持続可能な都市開発、F.持続可能な食料生産と農村開発のための水、G.水資源に対する気候変動の影響、の各項目に関し、それぞれ基本的行動、年次別計画目標、実施の方法、とが述べられている⁷⁾。

しかし、この会議では気候変動、地球温暖化、生物多様性、砂漠化防止等が主たる検討対象となり、淡水資源問題は主要議題とはならなかった。このため、淡水資源に係わる専門家や国際組織関係者が主体のダブリン会議参加者達は、これに危機感を抱き、地球規模の淡水資源問題に焦点を当てるべく様々な努力を行った。この結果、1996年には世界銀行(WB)や国際水資源学会(IWRA)などが主体となり、水に係わる国際政策の検討会等を行うシンクタンクとして「世界水会議(World Water Council: WWC)」が発足し、またこの分野へのより効果的な国際的開発援助を行うことを目的として「世界水パートナーシップ(Global Water Partnership: GWP)」が設立された⁸⁾。

(5)「第1回世界水フォーラム」

1997年3月、上述WWCが中心となり、モロッコのマラケシにおいて「第1回世界水フォーラム(The 1st World Water Forum: WWF-I)」が開催された。フォーラムでは将来の水不足、水質汚濁、衛生管理、統合的水資源管理、食糧危機と水、生態系と水、今後の投資等について議論され、以後3年ごとにフォーラムを開催すること、次回のフォーラムまでに「21世紀における世界の水と生命と環境に関するビジョン」をまとめた「世界水ビジョン(World Water Vision)」を策定することを盛り込んだ「マラケシ宣言(Marrakech Declaration)」が採択された。また、世界水ビジョンを作成するため、「21世紀のための世界水委員会(World Commission on Water for the 21st Century: WCW)」が設立された⁹⁾。

(6)「第2回世界水フォーラム」

2000年3月にはオランダ、ハーグで「第2回世界水フォーラム(The 2nd World Water Forum: WWF-II)」が開催され、「世界水ビジョン」が発表された。世界水ビジョンは「水を全ての人類の課題に(Making Water Everybody's Business)」を基本コンセプトに、現在の水管理を継続していけば水危機は拡大し深刻化するとの問題意識の下、将来に向けて取り組むべき課題として、灌漑農業の拡大抑制、水の生産性の向上、貯水量の増加、水資源管理制度の改革、流域での国際協力の強化、生態系機能の価値の評価、技術革新の支援等を提案している。そして行動計画の中で強調されているのは、「統合的水資源管理(integrated water resources management)」とダブリン宣言の延長たる「フルコスト・プライシング」であった。

このフォーラムでは、始めて閣僚級の会合(Ministerial Conference on Water Security in the 21st Century)が実施され、その結果をまとめた「ハーグ閣僚宣言(Hague Ministerial Declaration)」が採択された。この宣言では、「21世紀における“水のセキュリティ”の確保」を世界共通の目標とし、以下の七つの課題を挙げそのそれぞれに対する対応を提案している：①基本的ニーズへの対応、②食料供給の確保、③生態系の保護、④水資源の共有、⑤水に関する危機管理、⑥水の価値の確立、および⑦賢明な水の統治。更に分析範囲を拡大するため、これらに加えて⑧水と工業、⑨水とエネルギー、⑩知識ベースの確立、そして⑪水と都市、の4項目の課題が追加された¹⁰⁾。

(7)「国連ミレニアムサミット」

2000年9月、新世紀の幕開けに際しての国連総会、通称「国連ミレニアムサミット(UN Millennium Summit)」が開催された。ここで採択された「国連ミレニアム宣言(UN Millennium Declaration)」の中で、水問題も重要な環境問題一つとして取り上げられた。

2015年までに達成すべき目標を設定した「ミレニアム開発目標(Millennium Development Goals: MDGs)」の中で水に関するものは以下のとおりである¹¹⁾。

1. 極度の貧困と飢餓の撲滅。
2. 環境の持続可能性の確保。
3. 妊産婦死亡率を75%、5歳未満児死亡率を2/3削減する。
4. HIV/エイズ、マラリヤ、その他の主要疾患の蔓延を食い止める。

(8)「国際淡水会議」

2001年12月、ドイツのボンにおいて開催された「国際淡水会議(International Conference on Freshwater)」は、46カ国の水業務・環境・開発担当大臣が集まり、“アジェンダ21”の実施状況の評価、水における安全の促進、および水資源の持続可能な管理の達成を図る行動に付いて議論を行ったもので、閣僚宣言(Ministerial Declaration)を採択した。閣僚宣言では、国連ミレニアムサミットで合意された国際的な開発目標、特に2015年までに極度の貧困にある人々の割合を半減させ、飢餓に苦しみ安全な水にアクセスできない人々の割合を半減させるという目標を再確認している。また、その行動勧告(Recommendations for action)において以下の6項目を示した：①水の持続可能で公正な管理のためのガバナンス、②インフラ整備・維持やキャパシティ・ビルディング等における資金確保、③ODA目標達成への努力、④キャパシティ・ビルディングと技術移転、⑤男女が対等な立場で参画(ジェンダー配慮)、および⑥持続可能な開発に関する世界サミットおよび第3回世界水フォーラムでの一層の議論¹²⁾。

(9)「持続可能な開発に関する世界サミット(WSSD)」

2002年に南アフリカ・ヨハネスブルグで行われたこの会議は、1992年の地球サミットから10年を経て、“リオ宣言”、“アジェンダ21”等、同サミットで合意した目標について、その達成度を踏まえ、その実施を促進するために必要な国際的行動を議論した。ここにおいて、水問題は教育、健康、農業、生物多様性と共に五つの最重要課題(総称してWEHAB)の一つとして議論された。ここで採択された実施計画文書(Plan of Implementation)では、改めて「貧困撲滅」、「持続可能でない生産・消費形態の変更」、「経済・社会開発の基礎となる天然資源の保護と管理」、「京都議定書」、「グローバル化する世界における持続可能な開発」、「健康と持続可能な開発」等々が議論されている。

水問題に関しては、1)安全な水と衛生、2)再生可能なエネルギーとしての水資源の適正利用、3)生態系の保全と天然資源の管理、4)総合的水資源管理、統合河川流域管理、5)水資源の量および質の監視と評価、6)水循環の科学的解明等が提案されている。同時に、閣僚レベルでの協議を経て採択された「ヨハネスブルグ宣言(Johannesburg Declaration on Sustainable Development)」(政治宣言)では、以下のような提案や約束がなされている：①地域、国家、地球レベルで環境保全、社会・経済発展を前進させ強化する上での共通の責任を認識、②貧富の格差を埋めるための持続可能な開発計画を実現すること、③清浄な水や衛生、エネルギー、健康、生物多様性等を保護、④ODAに関する国際目標を早急に達成するために努力、⑤持続可能な

開発の実現に向け、より民主的な国際機関、多国間機関の強化が必要、そして⑥サミットの成果である実施計画の進捗状況を定期的に点検すること¹³⁾。

(10)「第3回世界水フォーラム」

2003年3月には日本の京都で「第3回世界水フォーラム(The 3rd World Water Forum: WWF-III)」が開催された。このフォーラムでは、理念として「ビジョンからアクションへ」が掲げられ、「世界水ビジョン」を具体的な行動に結びつけるため、WWCは「水行動報告書(Portfolio of Water Actions: PWA)」を発表し、さらには「国連水発展報告書“人類のための水、生命のための水”(World Water Development Report: WWDR)」や「水管理の改善: OECD 諸国の経験(Improving Water Management: Recent OECD Experiment)」その他の報告書が発表されている¹⁴⁾。

フォーラム声明文は、「淡水は、持続可能な開発、経済成長、社会の安定および貧困緩和にとって極めて重要な、限りある貴重な資源である。」に始まる序文以下、主要な課題として、「全ての人に安全で衛生的な水を」、「良いガバナンス」、「能力開発」、「資金調達」、「参加」、「地域の課題」を挙げ、そのそれぞれに行動指針が検討されている。基本文書として発表された「国連水発展報告書“人類のための水、生命のための水”(Water for People, Water for Life)」では、上述した2000年3月の「ハーグ閣僚宣言」の11課題がその骨組みとなっている。

1.2. 水問題に係る主な国際機関の取り組み

前節では、21世紀末から今世紀にかけて開かれた、水問題に係る国際会議の概要と、そこで示された主な方針・行動計画を概観した。本節では、こうした世界の水問題への取り組みに大きな影響を与えている国際機関: 国連、OECD、世銀、及びアジア開発銀行、の水問題に対する取り組みを見てみたい。これらの機関の取り組みは、(国連を別として)後述する日本の取り組みと共に、いわば先進国側からの水問題への取り組み姿勢と言う事ができよう。

1.2.1. 国連

前述したように、国連は2000年9月ニューヨークで開催されたミレニアム・サミットで、2015年という達成期限と具体的な数値目標を定めた「ミレニアム開発目標(MDGs)」を取りまとめた。MDGsでは、以下に示す8つの目標と18のターゲットを挙げている¹⁵⁾。

- (1) 極度の貧困と飢餓の撲滅
 - ターゲット1. 1日1ドル未満で生活する人口比率を半減させる。
 - ターゲット2. 飢餓に苦しむ人口の割合を半減させる。
- (2) 普遍的初等教育の達成
 - ターゲット3. 全ての子供が男女の区別無く初等教育の全過程を終了できるようにする。
- (3) ジェンダーの平等の推進と女性の地位向上
 - ターゲット4. 初等・中等教育における男女格差の解消を2005年までに達成し、2015年までに全ての教育レベルにおける男女格差を解消する。
- (4) 幼児死亡率の削減
 - ターゲット5. 5歳未満児の死亡率を3分の2減少させる。
- (5) 妊産婦の健康の改善
 - ターゲット6. 妊産婦の死亡率を4分の3減少させる。
- (6) HIV/エイズ、マラリア、その他の疾病の万全防止
 - ターゲット7. HIV/エイズの蔓延を阻止し、その後減少させる。
 - ターゲット8. マラリア及びその他の主要な疾病の蔓延を阻止し、その後発生率を下げる。
- (7) 環境の持続可能性の確保
 - ターゲット9. 持続可能な開発の原則を各国の政策や戦略に反

映させ、環境資源の喪失を阻止し、回復を図る。

- ターゲット10. 安全な飲料水を継続的に利用できない人々の割合を半減する。
 - ターゲット11. 2020年までに、最低1億人のスラム居住者の生活を大幅に改善する。
- (8) 開発のためのグローバル・パートナーシップの推進
- ターゲット12. 開放的で、ルールに基づいた、予測可能でかつ差別のない貿易及び金融システムの更なる構築を推進する(グッド・ガバナンス、開発及び貧困削減に対する国内及び国際的な公約を含む)。
 - ターゲット13. 最貧国の特別なニーズに取り組む(無関税貿易、債務救済、寛大なODA提供等を含む)。
 - ターゲット14. 内陸国及び小島嶼開発途上国の特別なニーズに取り組む。
 - ターゲット15. 国内及び国際的な措置を通じて、開発途上国の債務問題に包括的に取り組み、債務を長期的に持続可能なものとする。
 - ターゲット16. 開発途上国と協力し、適切で生産性のある仕事を若者に提供するための戦略を策定・実施する。
 - ターゲット17. 製薬会社と協力し、開発途上国において、人々が安価で必須医薬品を入手・利用できるようにする。
 - ターゲット18. 民間セクターと協力し、特に情報・通信分野の新技术による利益が得られるようにする。

この中で、直接水に関連するものと言えば、目標7、ターゲット10の「2015年までに、安全な飲料水を継続的に利用できない人々の割合を半減する」があり、衛生や水因性疾患の観点からは目標4、5の幼児死亡率削減・妊産婦の健康改善が、また目標6、ターゲット8の「マラリア及びその他の主要な疾病の蔓延を阻止し、その後発生率を下げる」が含まれる。

この目標を達成するための戦略として、国連は以下の3つの取り組みを行っている。

I. 研究と提言

- a. ミレニアム・プロジェクト: MDGsを達成するためのグローバル戦略を提示することを目的としたプロジェクト。目的達成のための政策課題とその実施手段を調査・分析し、必要となる公的及び民間資金の積算を行う。
- b. 戦略、投資、資金調達に関する国別研究: 上記研究成果を、各開発途上国におけるMDGs達成のための戦略立案に活用する。具体的には、貧困削減戦略書(PRSP)やCCAなどの政策ツールを通じて、各国の政策対話や国家開発戦略の策定等にMDGsが反映されることが期待される。

II. モニタリング

- a. 国連事務総長報告書: グローバルレベルでのモニタリングのため、2002年より国連事務総長は「ミレニアム宣言の実施に向けた進捗状況に関する年次報告書」を国連総会に毎年提出する。
- b. ミレニアム開発目標報告書: 国レベルのモニタリングは「ミレニアム開発目標報告書(MDGRs)」によって行われる。UNDPがコーディネートするUN国別チーム(UNTC)がこの報告書の策定を支援する。

III. ミレニアム・キャンペーン

ミレニアム・キャンペーンは、先進国・開発途上国を問わず世界中全ての人々がMDGsに対する理解と支持を深め、その達成に向けて様々な組織や団体が自発的に幅広い連

携ができるようにすることを目的としている。グローバル・ミレニアム・キャンペーンと、ナショナル・ミレニアム・キャンペーンとが実施されている。

1.2.2. 経済開発協力機構 (OECD)

OECDは2001年3月、「OECD Environmental Outlook」を発表した。この中でOECDは、経済・社会・技術的要因が環境に与える影響の分析と、2020年の経済・社会状況予測とを照らし合わせ、現在の環境の状態について赤・黄・青のシグナルで評価・警告を与えたものである。この分析に則ってOECDは、同年5月に「OECD Environmental Strategy for the First Decade of the 21st Century」を発表した。

このOECD環境戦略は、副題に「Toward Environmentally Sustainable Development」と謳っているように、持続可能な開発を目指しており、具体的な戦略目標は以下の5項目に大別されている。目標1・2のみは更にその中の主要な対象が取り上げられ、それぞれに挑戦すべき課題と、OECD諸国の実践すべき行動、進捗の測定、及び今後OECDが成すべき業務に付いて述べている¹⁶⁾。

目標1：天然資源の効率的な管理を通しての生態系を健全に保つ。

- 1.1. 気候問題。
- 1.2. 淡水問題。
- 1.3. 生物多様性問題。

目標2：経済的成長から環境的圧力を分離する。

- 2.1. 農業。
- 2.2. 交通・運輸。
- 2.3. エネルギー。

目標3：意思決定のための情報の改善：指標による進捗の測定。

目標4：社会問題と環境問題の融和：生活の質の向上。

目標5：地球的な環境の相互依存：統治と協力の改善。

水問題に関しては、第1目標の2として「淡水問題」を挙げている。この中で、挑戦すべき課題として2項目、①人間が利用し、水界その他の生態系に資するに十分な質の淡水を、適切に供給し続けられるような淡水資源の利用とその流域の管理、②OECD諸国の水質目標の達成を確実にしめるため、全ての地表水・地下水の水質悪化を予防し、復旧し、また保護する事、を挙げている。各国の行動目標としては、以下に示す9項目が述べられている。

- i) 全ての人々の安全な水と適切な衛生施設へのアクセスを確実なものとする。
- ii) 原位置水源の価値とその生態学的機能を確実にしめるために必要な、既に合意された水質目標の達成と新たな目標値の採用。
- iii) 統合的河川流域管理に基づく、淡水資源と流域の管理への生態学的アプローチの採用。
- iv) 淡水資源の持続可能な利用と、その効率的利用拡大を確実にしめるため、適切な政策手段に支持された法的枠組みの開発と適用。
- v) 給水サービスの設立に係る、また水利用に係るその他のコストの全てを回収するための政策を確立し、こうした政策の社会的インパクトを考慮に入れて、効率的な水資源利用のインセンティブを醸成する（需要管理）。
- vi) 給水網からの漏水の顕著な削減。
- vii) 極端な洪水や旱魃によるリスクを防ぐことを目的とした、流域生態系管理の適切な戦略を構築する。
- viii) 洪水被害を軽減し、越境水源の利用または汚染による紛争の可能性をなくすべく、国境を跨ぐ水源の効果的利用と環境的に健全な管理のための協力体制を確実にする。

- ix) 持続可能な方法で淡水資源を開発し管理し、安全な水と適切な衛生施設を確立するため、発展途上国への能力育成と技術移転に係る支援を強化する。

1.2.3. 世銀 (WB)

世界銀行は従来から途上国の水分野における融資及び政策形成に大きな役割を果たしてきた。特に近年では「知識の銀行」として、インフラ整備のための融資よりむしろ水セクターの改革に向けた政策対話、知識普及活動に重点を置きつつある。世銀の政策方針は1993年の水資源管理政策文書(Water Resources Management, The 1993 Policy Paper)に示されており、法制度・組織、規制・管理上のツール、インフラの開発と維持管理に関する観点から構成されており、その考え方は「ダブリン原則」と一致している¹⁷⁾。

2003年には「水資源セクター戦略：世銀の関与に関する戦略的方向性」が公表された。これは93年の改訂版と言うよりは、その後の10年の経験を踏まえて世銀が今後取るべき具体的な戦略を示す文書であり、政策方針そのものについては93年版の文書と補完関係にある。同文書からその戦略の骨格を成す7つの主張を以下に示す¹⁸⁾。

- 主張1：水資源管理及び開発は、持続可能な成長と貧困解消のために中心的な役割を果たすものであり、それ故、世銀の成すべき役割の中で中心的な重要性を有する。
- 主張2：ほとんどの発展途上国は水資源インフラの開発と管理の双方を活性化させることが必要である。
- 主張3：管理上の主たる課題は、統合的な水資源管理のビジョンではなく、実践的かつ原則的なアプローチである。
- 主張4：世銀は、途上国の環境的・社会的基準に沿った、公的あるいは私的金融と、健全な水理施設の開発とその適切な維持のために協力する必要がある。
- 主張5：世銀は、より効果的なビジネス・モデルを用い、高リスク/高利益な水理インフラに再び従事する。
- 主張6：世銀は水セクターに比較的重きを置いていることが大方に認識されている。従って、銀行サービスに対する強い要求と、世銀がそれに関与することへの強い要望とがある。
- 主張7：世銀の水分野への協力は、その国独自の環境に適合したものであり、そしてまた、国別援助戦略(CAS)と貧困削減戦略文書(PRSPs)の全てに合致したものでなければならない。

1.2.4. アジア開発銀行 (ADB)

アジア開発銀行の水問題に対する取り組みは、その政策文書「全ての人に水を(Water for All: The Water Policy of the Asian development Bank)」の表題に謳われているように、「水は人間の生存の基である」を基本コンセプトとし、貧困及び環境と共にその最重要課題としている。ADBの水政策に係る基本理念は、1)水は社会的にきわめて重要な経済財である、2)水は公平な成長を支え、貧困を削減するために注意深い管理が必要である、3)参加型アプローチは地域の水資源保護と保全に資するであろう、の3点を挙げ、いかに示す7項目を基本要素としている¹⁹⁾。

- (1) 国家政策の焦点を水分野の再編に当てることを奨励する：ADBはその途上国メンバーに対し、以下の分野の支援を行う；
 - イ) 効果的な国家水政策、水法及び分野の調整取り決め等の採用、
 - ロ) 情報管理や組織能力の改善、
 - ハ) 国家水行動計画の策定。
- (2) 水資源の統合的管理を助長する。
- (3) 給水サービスの普及・拡張及び改善：

ADB は給水と衛生、灌漑と排水、及びその他の水サービスに焦点を当て；

(ア) 独立した、透明性のあるサービスの担い手、民間の参加、官 - 民協力を支援する。

(イ) 貧困層や十分な行政サービスを受けられない人々の水への公平なアクセスを重要視する。

(4) 給水システムの効率化と水質保全を助長する：

ADB は以下の施策を支持する；

(ア) 水価に水利用費と水資源管理共に含める、

(イ) 水法の改良と公衆意識の向上、

(ウ) 貧困層の取り込み。

(5) 地域協力を促し、国内及び国家間での共有水資源の相互に有益な利用を増大する：

ADB はその基本理念に基づき、以下の計画を支持する；

(ア) 共有水源の有用性に対する意識改善、

(イ) 越境水源の管理に関連した健全な水文、生態環境データベースの創設。

(ウ) 沿岸諸国間の共同実施プロジェクトの育成。

(6) 水セクターの情報と経験の交換を促進する：

ADB は、水セクターの社会的、包括的開発原則を強調した施策を支持する。それらは、以下のものを含む；

(ア) 利害関係者が協議を行い、また全てのレベルでの参加すること促進する、

(イ) 貧困消費者が最低限の給水サービスにアクセスする機会を増大する、

(ウ) 水への投資に関し、公共 - 民間 - NGO 間のパートナーシップを助長する。

(7) ガバナンスの改善：

ADB は、以下に基づいて“良い統治”を追い求める；

(ア) 地方分権の促進、

(イ) 能力育成、

(ウ) 特に公共機関における、観測と評価、調査と学習等の強化。

2. 日本の ODA

2.1. 日本の ODA 略史

今日の日本は、1990 年代のバブル経済崩壊の後遺症を未だに引きずり、不況に喘いでいる。そのため、かつては世界第 1 位を誇った日本の政府開発援助 (ODA) 予算は、1999 年の 153 億ドルをピークに年々降下をたどり、2003 年には約 78 億ドルにまで落ち込んでいる。この間 2001 年には総額で 100 億ドルを割り込み、米国に追い抜かれてはいるが、しかし、それでも世界第 2 の ODA 供与国の地位は保っている (Fig 3-5 参照)。以下に、日本が世界のトップドナーになるまでの変遷を、あまり知られていない戦前の技術協力を含めてごく簡単に紹介したい²⁰⁾。

(1) 戦前の技術協力：海外技術協力の“さきがけ”

日本の技術協力の系譜をたどると、戦前の日本の植民地政策下において中国、台湾、北朝鮮 (当時) の動脈となる社会基盤整備を通じた国土開発と国造りに取り組んだ“さきがけ”の時代がある。当時の国土開発の最優先課題は食糧増産とエネルギー (電気) 供給であり、灌漑と水力開発が基幹の開発プロジェクトになっていた。

嘉南ダム (台湾)

台湾南部の嘉南平野 (嘉義県と台南県にまたがる) に、当時東洋最大級の高さ 56m、堰堤長 1,273m のダムと 1 億 m³ の人造湖である珊瑚潭、16,000 km の用排水路を有する「嘉南平野開発プロジェクト」が日本によって実施された。ダム開発は 1920 年 (大

正 9 年) にスタートし、人災事故など幾多の苦難を経て 1930 年に完成した。これにより嘉南平野は米、砂糖きび、豆類、野菜などの作物が栽培される緑の大地に変身した。

水豊ダム (北朝鮮)

朝鮮半島北部と満州の境には国際河川である鴨緑江が流れている。河口から 120 km の地点の支流、長津江 (ちょうつこう) と赴戦江 (ふせんこう) に大ダムをつくり水力発電所を建設するという計画が「水豊ダム開発プロジェクト」である。これは日本の 1 企業によって実施されたものであるが、1926 年にダムの建設が始まり、1941 年に完成した。有効水量 76 億立方 m³ で、堰堤の高さ 106m、幅 30m、延長 900m の重力式コンクリートダムには、70 万 kW の発電所が設置され、22 万ボルトの送電線で京城、平壤方面に電力が送られた。この水豊ダムと発電所は完成当時東洋最大規模で「朝鮮の産業革命」と言われるほど朝鮮の工業発展の原動力となった。

このように、当時の海外開発プロジェクトの多くは、国際的な民間企業ベースで地域の経済発展を考えて実施されたため、地域や国家に与えた経済的影響は大きい。日本の敗戦という歴史的なドラマを経ても戦後の経済復興期に果たした役割は大きい。不幸な歴史のなかで脈々と培われてきた土木技術の蓄積が、戦後の日本の平和外交・経済協力をにやう機軸としての国際協力を推し進めるモチベーションと原動力になっていることに一つの光を見出せる²¹⁾。

(2) 戦後復興初期：“賠償と言う名の経済協力”

日本は、1951 年 6 月、サン・フランシスコ平和条約を調印し、完全な主権と独立を回復したが、日本の国際社会復帰にあたって、同条約第 14 条 (対日賠償条項) で、賠償が義務づけられ、1954 年 11 月、「日本・ビルマ (現ミャンマー) 平和条約及び賠償・経済協力協定」が調印された。この平和条約は、「日本が与えた損害及び苦痛を償うため」の賠償の支払いの他に「ビルマ経済の回復及び発展並びに社会福祉の増進に寄与するため」の協力について規定されており、戦後処理としての賠償支払いと並行して、経済協力を行なうことが明記されている。終戦直後の混乱にあえぐ日本経済に援助資金の余裕などがあるはずはなく、出来ることは技術を通じた経済協力しかありえなかったであろう。こうして、当時の日本の土木 (河川・ダム) 技術の集大成をプロジェクトにまとめて、日本政府の第一号賠償プロジェクトとしてビルマのブルーチャン電力開発プロジェクトが実施された²²⁾。

第 1 期計画 8 万 4000kW、発電所建設資金 111 億円、送電線建設費 79 億円などを合わせた建設費総額 194 億円のブルーチャン水力発電開発は、当初スターリング・ポンド貨建ての商業契約としてスタートしたが、1954 年 11 月に日本ビルマ賠償協定が締結されてから、日本政府の対ビルマ賠償総額は 720 億円に及び、さらに 180 億円の経済協力が追加された。

以後、1956 年 5 月にはフィリピンと、1958 年 1 月にはインドネシアとの間に、そして 1959 年 5 月には当時の南ベトナムとの間にと、相次いで賠償協定が結ばれていった。対フィリピン賠償は 1976 年まで続きその総額は 1,980 億円に、インドネシアには 70 年までに約 800 億円の賠償と 1,440 億円に上る経済協力が、またベトナムに対しての賠償は 64 年まで続き、約 140 億円の賠償と 60 億円の経済協力がなされた²³⁾。こうして日本は合計 5,000 億円もの賠償支払いに応じたが、この賠償は戦後復興期の日本に経済的負担を強いた反面、東南アジア向けの輸出振興というプラスの役目も果たしたとも言えよう。

(3) 国際協力の“あけぼの”

日本の政府ベース技術協力の始まりは、1954 年にアジア諸国の社会経済開発を行うために発足していたコロンボプランに加盟したことに端を発する。同年、日本政府は技術協りに係わる 6 団

体を統合して「アジア協会」を設立、日本からの賠償を放棄した国に対して、経済協力という平和的・友好的な外交手法を前面に押し出す戦略的な国際政策に突き進んでいくこととなった。

1958年10月、ラオスへの経済協力として、10億円規模の第一号無償資金協力をビエンチャン市の水道工事にあてた。ラオスにとって緊急に必要な援助が水力発電開発とビエンチャンの給水にあることが明白であったため、ビエンチャン市給水プロジェクトにあてる予算の残りのわずかな金額をナムグム・ダムの開発調査に振り向けた。このことをきっかけに、日本勢では初めての国際入札プロジェクトを受注して国連関連援助としてラオスのナムグム水力発電プロジェクトの開発調査に取り組んだ。調査は1963年に完了し、1966年には実施計画及び施工監理の発注通知が世界銀行から日本のコンサルタント会社に届いた。その結果、ナムグム・ダムは日本を始めとする12カ国によって資金を提供され、日本政府は1974年及び76年度に円借款供与を実施した。総工事費は100億円、3万kW（最終15万kW）の発電所を建設、ラオス全土の電力需要を満たし、残りをタイにも送電して外貨を獲得できるという優良プロジェクトの一つで、ナムグム湖は有力な漁業資源と観光資源にも恵まれ、発電所は運転開始後30年を経ているが、その電力輸出はラオスの外貨収入の1割に及んでいる²⁴⁾。

1958年に「対インドネシア平和条約賠償協定」を調印した後、日本は1961年にインドネシア・ジャワ島のプランタス河流域総合開発のマスタープラン（第一次）に取り組み、ダム建設、灌漑、河川改修を組み込んだ流域開発計画を作成した。これが後の日本の政府開発援助(ODA)の大躍進につながるようになる。

(4) 日本のODA発展期:OTCAの設立

1960年3月に開発支援国グループ(DAG)に参加した日本は、同年12月には第2世銀(IDA)にも参加する。翌61年3月には有償資金協力部門を一元化し、海外経済協力基金(Overseas Economic Cooperation Fund: OECF)を設立、1962年には外務省傘下に、海外における技術協力を一手に引き受ける「海外技術協力事業団(Overseas Technical Cooperation Agency: OTCA)」が設立された。

賠償の時代から本格的な技術協力へ移行しはじめる1971年に、海外技術協力事業団は、上流地域のダム建設、下流地域の洪水・防災計画を重視した上記ジャワ島プランタス河流域開発計画マスタープランの見直し(第二次マスタープラン)を実施して、プランタス川流域の洪水防御と灌漑用水に重点を置いて円借款を中心とする資金協力を実施する第一歩を踏み出した。1961年から40年間に亘って、プランタス河流域総合開発は国際協力の試金石として継続された。第一次から第四次までのマスタープランが策定され、この中で計画され実施されたプロジェクトは1995年まで総計21プロジェクトに達する。外国からの資金援助総額1,031億円の内、日本からの資金援助は73%の約751億円に達した。一つの河川流域で日本の政府開発援助が継続して実施された唯一のモデル的なプロジェクトである。プランタス河の流域開発が一段落した後の1997年からは流域管理マスタープランの策定に着手し、環境と調和した持続的な流域管理のあり方を模索する新しい段階に達している²⁵⁾。

この間海外技術協力事業団は、1974年に海外移住事業団と合併して「国際協力事業団(Japan International Cooperation Agency: JICA)」となっている。

(5) 日本のODA充実期:ODA大綱からグローバルな国際協力へ

日本の政府開発援助(ODA)は、歴史的な経緯から戦後の賠償や「お詫び」の意味を含んだ経済援助的協力から出発したが、その後、ODAは武力を持たない日本の外交的なツールとして発展していくことになる。例えば中国との国交樹立・平和協定締結時の戦争賠償放棄に対する経済協力の突出化に代表され、さらに現在

では、北朝鮮との国交樹立・平和協定においても人道的援助を除けば戦争賠償問題と経済協力(ODA)と地域の安全保障がリンクする外交政策のシナリオのなかで交渉が進んでいる。

1970年代の世界的な経済停滞期に、日本はODA分野でより一層の貢献を求められ、それに応えるようにODA総額は伸びることになった。77年に策定された第1次ODA中期計画以後、98年の第5次中期計画に至まで日本のODA予算は、コンスタントに右肩上がりを続けた(Fig 2-1参照)。しかしその一方で80年代、世界の

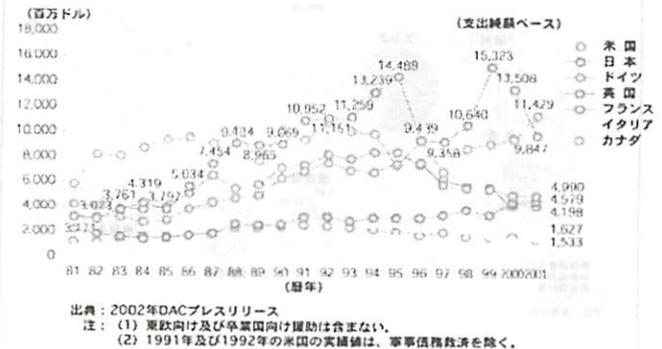


Fig 2-1 日本のODA予算の推移

トップドナーに名を連ねるようになった日本のODAに対し、国内外のマスコミやNGO等からその質の面での変革を要求する声が高まる。80年代には日本のODAが商業主義であるという指摘が、90年代には日本のODAが相手国の環境の破壊につながるという指摘や、「理念のないばら撒き」支援であるという指摘がなされるようになった。こうした批判に対し、日本政府は「政府開発援助について、内外の理解を深めることによって幅広い支持を得ると共に、援助を一層効果的・効率的に実施するため」1992年6月、「政府開発援助大綱」を策定した。ODA大綱はこれまでの経済開発重視型から離れ、環境・紛争予防・民主化・基本的人権・自由の保障に配慮した新しい開発援助の理念を打ち出した。その中では、世界的視野に立った人道主義的、平和主義的の理念が前面に据えられている²⁶⁾。

ODA大綱(1992年)を受けて、日本の援助の方向性も政治地理学的には東南アジアから東欧や中央アジアを含む旧共産圏を含めてグローバルな視点を明確にする協力へと転換し始め、2000年には援助実績で東南アジアの3,155百万米ドル(=3,786億円)に対して、乾燥地域/水貧困地域を代表するアフリカ(969百万米ドル)、中近東(729百万米ドル)、中央(273百万米ドル)・西南アジア(1,130百万米ドル)にはほぼ同額の3,099百万米ドル(=3,719億円)を援助するに到っている。

米国同時多発テロ(2001年9月)を契機に、開発途上国の貧困問題と紛争(テロ)問題がリンクされる一方で、世界の援助コンセプトは、「開発と経済」から「人間と環境」の時代に向かっている。開発のコンセプトも国レベルの基幹(大型)インフラ開発から地域社会の人間開発・社会開発へと、開発にマネジメントを融合させた総合的な援助プログラムへと、国際協力の視点と論点に移り変わりつつある。こうした環境の変化を受け、2002年12月には、外務省経済協力局によってODA大綱の見直し案が発表されている(後述)。

2.2. 日本のODA実績

国際協力銀行(JBIC)の円借款累積は20兆円でODA予算の50%に相当し、地域的配分ではアジアが81%と傑出して高い点に特徴がある。水セクターは4.3兆円で総額の22%を占め、その内訳は、水力開発28%、上水19%、灌漑排水15%、下水12%、多目的11%、治水8%、農村開発7%となり、上下水の合計では31%となり金額比

率では最大の援助セクターになっている。地域的にはアジア 77%、中南米 14%、中近東 5%、アフリカ 4%とアジアに突出している。

外務省の無償資金協力 (JICA が実施) の援助額累積 (1977 年以降、366 件、合計 5,193 億円) の金額内訳は、アジア 39%、アフリカ・中東 (33%+14%=44%) であり、水貧困 (乾燥) 地域のアフリカ・中近東がアジアを上回っている。セクター別では上水 (202 件、3,001 億円) の 58%が卓越し、下水 (12%) を合わせると 70%の圧倒的な援助額比率である (Fig 2-2 参照)。



Fig 2-2 二国間 ODA 供与先

出典: ODA 白書 2002 年版

水分野への協力は比率の高かった東南アジアから、アフリカ、中南米、中東および他の国々へと変化してきており、ODA 憲章 (1992 年) 以降に、外務省は、アフリカの貧困撲滅と水供給に、中東地域では石油資源機軸の外交政策から一変してイスラム文化相互理解と水資源に、外交政策の転換を図ってきている。

アフリカ開発会議 (TICAD I, & II, 1993/1998) を通じてアフリカの貧困撲滅の要である、教育・保険医療・水分野で 1998 年以降 5 年間を目処に無償資金協力により総額 900 億円の支援をコミットし、2001 年 9 月までに約 60% の 532 億円が拠出された。長期的には 1970 年代後半から 20 年間以上に亘って継続的に“安全な水供給プロジェクト”に取り組み、サブサハラ地域の井戸掘り・村落水供給プロジェクトだけでも総額 900 億円の無償資金協力を実施してきている。この 5 年間だけでも 4,000 万人以上の人々に対して安全な飲料水および衛生のアクセスを可能にしてきたものとして評価されるが、アフリカの構造的な人口増加のプレッシャーに追いつくことが出来ず、結果として安全な飲料水および衛生のアクセスにたどりつけない人口の絶対数は逆に増加していることに、奥の深い深刻な課題を読み取ることができる。

ヨハネスブルグにおける「持続的な開発に関する世界首脳会議 (WSSD: World Summit on sustainable Development, 2002 年 9 月)」において、日米両外相は水・衛生分野における日米間の新しい協力策として「清浄な水を人々へ」イニシアチブを発表した。米国は、水および衛生へのアクセスを改善し、流域管理及び適正な衛生事業を促進すると共に、水の生産性を向上させるため、今後 3 年間に集中して 9.7 億ドル以上の無償援助を行い、日本のイニシアチブは安全かつ安定的な水及び衛生的な下水道へのアクセスを改善することを目的とし、地方自治体、NGO、民間部門と密接に連携しつつ、無償資金協力、技術協力、有償資金協力を実施する。アフリカ (サブサハラ) での援助に消極的であった米国が一転してテロ対策と貧困撲滅をリンクさせた援助協力を新たに進めるためには、中東と平和多国間交渉で主導権をとった米国の外交政策に軍事管理と水資源の安全保障を手中にした手法をもとに、アフリカ開発会議を主催してサブサハラの水供給プロジェクトで実績を積み重ねてきた日本の ODA とパートナーを組む戦略に出てきたものと考えられる²⁷⁾。

2.3. 水問題に係る日本の ODA の基本姿勢

2.3.1. 政府開発援助 (ODA) 大綱

ODA 大綱 (1992 年) はその基本理念の中で、「世界の大多数を占める開発途上国においては、今なお多数の人々が飢餓と貧困に苦しんでおり、国際社会は、人道的見地からこれを看過することはできない。また、世界は平和と繁栄が実現され、自由、人権、民主主義等が確保される社会の構築に向けた努力を行っているが、開発途上国の安定と発展が世界全体の平和と繁栄にとって不可欠と言う意味での国際社会の相互依存関係を認識しなければならない」とした上で、「わが国は、以上の考え方の下に、開発途上国の離陸へ向けての自助努力を支援することを基本とし、広範な人づくり、国内の諸制度を含むインフラストラクチャー及び基礎生活分野の整備等を通じて、これらの国における資源配分の効率と公正や「良い統治」の確保を図り、その上に健全な経済発展を実現することを目的として、政府開発援助を実施する。その際、環境保全の達成を目指しつつ、地球規模での持続可能な開発が進められるよう努める」としている。

また、その原則の中には、以下の 4 点を挙げています：

- (ア) 環境と開発を両立させる。
- (イ) 軍事的用途及び国際紛争助長への使用を回避する。
- (ウ) 国際平和と安定を維持・強化すると共に、開発途上国はその国内資源を自国の経済社会開発のために適正かつ優先的に配分すべきとの観点から、開発途上国の軍事支出、大量破壊兵器・ミサイルの開発・製造、武器の輸出入等の動向に十分注意を払う。
- (エ) 開発途上国における民主化の促進、市場指向型経済導入の努力並びに基本的人権及び自由の保障状況に十分注意を払う。

重点項目として、(1) 地域はアジア地域、次いでアフリカ、中近東、中南米、東欧及び大洋州を挙げ、(2) 項目としては地球規模の問題への取り組み、基礎生活分野 (BHN)、人づくり及び研究協力等、インフラストラクチャー整備、そして構造調整を挙げている²⁸⁾。

2.3.2. ODA 大綱の見直しと JICA の衣替え

日本の政府開発援助大綱、いわゆる ODA 大綱が閣議決定をみた 1992 年から 10 年、わが国の ODA を取り巻く状況が大きく変わってきたとして、政府は 2002 年 12 月 ODA 大綱の改定案を発表した。これはその後数度の公聴会、インターネットによる意見募集等を経て、2003 年 8 月正式に閣議決定された。

改定された ODA 大綱は、その目的を「国際社会の平和と発展に貢献し、これを通じて我が国の安全と繁栄の確保に資すること」とし、この目的を達成するための基本方針を以下のように定めている²⁹⁾：

- (ア) 開発途上国の自助努力支援、
- (イ) 「人間の安全保障」の視点、
- (ウ) 公平性の確保、
- (エ) 我が国の経験と知見の活用、国際社会における協調と連携。

また、以上の目的及び基本方針に基づき、以下の 4 点：(1) 貧困削減、(2) 持続的成長、(3) 地球規模の問題への取り組み、(4) 平和の構築、を重点課題とした。重点地域は前大綱と同様アジア重視、特に ASEAN 等の東アジア地区を最重要地域とした。なお、援助実施の原則として、前の大綱で挙げた「環境と開発を両立させる」以下の 4 項目をそのまま踏襲している (前項 2.3.1 後半参照)。

日本の政府開発援助の内、外務省が行う開発援助の実施を担う機関が国際協力事業団 (JICA) であった。この機関は 2003 年 10 月、政府の民営化という大方針の下「特殊法人等整理合理化計画」に沿って、「独立行政法人、国際協力機構」へと改編された。ただし、外務省所轄の政府開発援助実施機関という役割は変わらず、

英語による名称もこれまでと同じく，“Japan International Cooperation Agency: JICA” と呼ばれる。

2.3.3. 水分野援助の課題と方針

2003年3月に予定された京都における第3回世界水フォーラムを控え、JICAはこれまで行ってきた水分野における援助の成果と問題点をレビューし、今後の方針を提示する目的で学識経験者を主体とする「水分野援助研究会」を発足させた。同研究会は2002年11月「途上国の水問題への対応」を副題とする報告書を発表した。以下同報告書より、日本の水分野支援に対する課題と今後の方針を簡単に紹介したい。

まず我が国の水分野協力において重点を置くべき課題として、以下の5項目を挙げている³⁰⁾：

- ① モンスーンアジアに対する総合的水管理
 - モンスーンアジアの開発途上国に対し、流域を単位とした総合的水管理を具現化するために協力する -
- ② 水質汚濁改善による地域環境保全
 - 開発途上国の水循環と水質汚濁改善による地域環境保全と健全な地域発展の基礎を構築するために協力する -
- ③ 農業用水の持続的な確保と公平な分配
 - 水田汎用化、土地改良区、小規模灌漑、低コスト技術等、日本の経験を生かせる援助を行う -
- ④ 乾燥地・貧困層への安全な水供給
 - 安全な飲料水を得ることが困難な乾燥地や貧困層を重点に、持続的維持管理と水源汚染に配慮しながら水供給に協力する -
- ⑤ 国際流域管理への支援強化
 - 国際河川流域における関係国間の協力醸成に向けて支援する -

ついで水分野協力の効果的・効率的実施のための協力手法として、以下の9つの手法を提言している：

- (ア) 効率的な水利用の推進（農業、工業、生活各セクターにおける節水及びそのための技術開発。
 - 地表水と地下水の組み合わせ利用、住民参加、水質による水源の使い分け、都市水道における漏水防止、メーターの設置と増設料金金の導入、節水型装置・用品の普及、工業用水の循環再利用、等 -
- (イ) 法整備支援
 - 慣習法の尊重、人材育成、水利権、共有資源としての地下水、排水浄化対策、データベースの構築、水法の新たな理念の構築 -
- (ウ) 地域性の重視
 - 自然・社会条件の精査、伝統的システムの活用、地域の技術・経済レベル、文化に応じた適正技術と規模の適用、他地区の成功例を画一的に適用しない -
- (エ) 社会的弱者・貧困層・ジェンダーの重視
 - 貧困層を主たる裨益者とする、社会的弱者等の現状把握、社会的弱者等の参加の促進、社会的弱者等の生計向上に寄与する、社会的弱者等に配慮した技術の適用 -
- (オ) マルチセクター・アプローチの推進
 - 調整機能の強化、協力のプログラム化、複数のサブセクターをカバーする、プロジェクト活動の連結 -
- (カ) 傘下メカニズムの整備
 - ステークホルダー分析の強化、計画段階への参加、コミュニティの関与、民間セクター（NGO含む）の参加、パートナーシップ -
- (キ) 援助協調

- 水分野の援助戦略、プログラム・アプローチ、現地実施体制の整備、地域別協力の推進 -

(ク) 国内体制の強化に向けて

- 国内協力機関との情報共有、パートナーシップ、援助人材の育成 -

(ケ) 日本の経験の活用と技術開発

- 日本の経験の体系化、総合的水管理への協力、伝統技術の再評価 -

2.4. ODAの仕組み

2.4.1. ODAの区分

日本のODAは、大別して「二国間援助」と国際機関に対する出資・拠出」とに区分され、二国間援助はまた「無償資金協力」、「技術協力」、及び最近加わった「NGOへの補助金」とに区分される。NGOへの補助金を除く他の援助は、更に多くのカテゴリーに細区分されている。これら日本のODAのカテゴリーをFig2-3に示す³¹⁾。

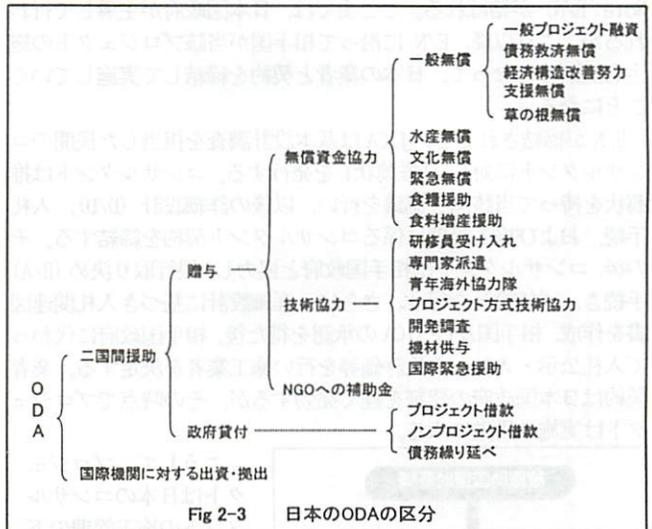


Fig 2-3 日本のODAの区分

日本のODAに関与する省庁は1府12省にまたがるが、外務省が政府全体を通じた調整役となる。二国間援助のうち、有償資金協力（政府貸付）は国際協力銀行（JBIC）が担当するが、贈与に区分される協力の大部分は昨年改組された「国際協力機構（JICA）」が担当する。正確には「技術協力」の全てと、「無償資金協力」の大部分はJICAが実施を担当する³²⁾。

Fig 3-7に示されるように、無償資金協力も、更にいくつかのジャンルに区分されるが、その中でも一般的なものは一般プロジェクト援助で、通常「一般プロジェクト無償」と呼ばれる。これは医療・保健、教育・研究、農業、民生・環境改善、通信・運輸という対象分野に施設の建設や機材の供与を行うものである。技術協力の分野も更にいくつかのジャンルに細区分されているが、民間のコンサルタンツがJICAの委託を受けて現地で実際に調査を行うのが「開発調査」である。「プロジェクト方式技術協力」とは、同じジャンルの中の「研修員受け入れ」、「専門家派遣」及び「機材供与」とを組み合わせた協力方式である。

2.4.2. ODA実施の仕組み

以上述べたように、日本のODAには多くの種類、方式があるが、以下にごく一般的な援助である、「無償資金協力」と「開発調査」に係る技術援助に付き、実際にその援助が行われるまでの仕組みを、簡単に紹介したい。

「無償資金協力」の場合、その手順は「要請」→「検討」→「調査」→「審査」→「実施」→「評価・フォローアップ」という段階で進められる。協力はまず被援助国からの無償資金協力の要請から始まる。要請書には決まった書式（Application Form）があり、これを全て埋め、必要ならその参考資料を添付した上で、所轄官

庁より当該国を所管する日本大使館へ提出される。日本大使館は、当該国から提出された要請書を年次ごとに（当該国からの優先順位に応じて）外務省に送付する。外務省では、ODA 大綱・中期目標・年次目標・地域目標等に基づき要請を検討し、それを採択した場合はその調査を JICA に指示する。JICA は、そのプロジェクトについて（必要に応じて）要請国と更に詳細な協議を行い、本格調査に係る取り決め（S/W）に調印するため「事前調査団」を派遣する。その後 JICA は、当該プロジェクトの詳細を調査し、無償資金協力の内容や実施方法を策定し、その妥当性を検討するための「基本設計調査団」を派遣する。この調査団は、JICA 職員や専門家から成る官団員と、技術プロポーザル方式で選抜された民間コンサルタントとで構成され、現地調査・国内解析作業を経て基本設計報告書を提出する。外務省は、この調査の結果を基に当該案件を審査し、それが日本の無償資金協力に適していると判断した場合に、この実施を決定する。実施が決定されると、まず閣議に諮られ「閣議決定」を経た後、当該国との交換公文（Exchange of Note: E/N）が結ばれる。ここまでは、日本国政府が主導して行われるが、これ以降、E/N に沿って相手国が当該プロジェクトの施主（発注者）となって、日本の業者と契約を締結して実施していくことになる。

E/N が締結されると、JICA は基本設計調査を担当した民間のコンサルタントに対し、「推薦状」を発行する。コンサルタントは推薦状を持って当該国と協議を行い、以後の詳細設計（D/D）、入札手続、および施工管理に係るコンサルタント契約を締結する。その後、コンサルタントは相手国政府と協力し、銀行取り決め（B/A）手続き、詳細設計を行う。さらに、詳細設計に基づき入札関連図書を作成、相手国及び JICA の承認を得た後、相手国政府に代わって入札公示・入札・入札評価等を行い施工業者を決定する。業者契約は日本国政府の認証を経て発効するが、その時点でプロジェクトは実施の段階に入る。

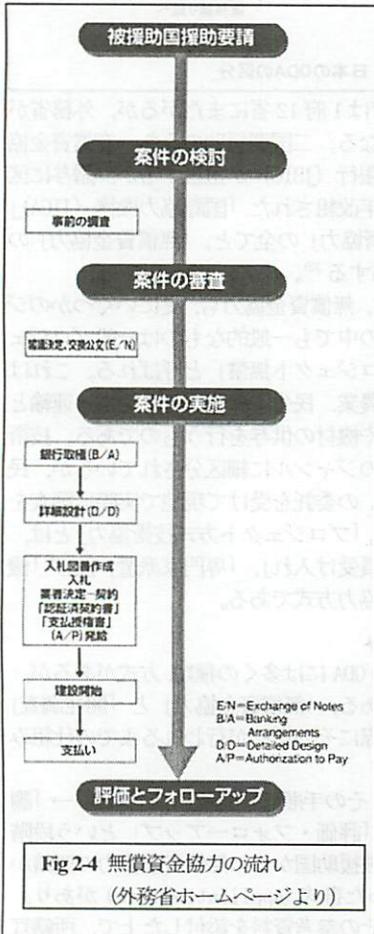


Fig 2-4 無償資金協力の流れ
(外務省ホームページより)

こうして、プロジェクトは日本のコンサルタントの施工管理の下、日本の業者によって実施される。「機材供与」の場合は、その機材を調達し納入する。「施設案件」の場合は、実際にその施設を建設し、相手側政府に引き渡すことになる。もちろん、その組み合わせ、いわゆる「複合案件」の場合もある。プロジェクトが終了した後も、JICA はその援助が当初設定した効果を発揮したかどうかを検証するため「評価」を行い、また援助効果をより確実なものにするための「フォローアップ」協力も行う。そして、評価の結果得られた教訓や提言は次の事業に反映されることになる。こうした「無償資金協力」の一連の流れを Fig 2-4 に示す³³⁾。

技術協力における開発調査も、ほぼ同じフローで実施される。協力は、同じく相手国から「要請書」から始まるが、要請書のフォームは無償資金協力の場合と若干異なる。要請が現地大使館を経て外務省に届けられ、外務省がこの採択を決めれば、同様に JICA に指示が出され、JICA は調査を開始する。調査は、これも同様にまず「事前調査団」が派遣され、S/W が締結された後、本格調査団が派遣される。開発調査の場合、本格調査に係る調査団は民間のコンサルタントで構成され、これに指導・助言を与える「作業管理委員会」が組織される。コンサルタントは、無償の場合と同様、技術プロポーザル方式で選別される。作業管理委員会は JICA の職員と外部の専門家・学識経験者から構成される。また、開発調査の結果は、調査報告書として提出されるが、その結果に基づいて、直接事業が実施される訳ではない。これに基づいて、それに続く F/S なり D/D なりの調査が行われることもある。相手国によってこれが実施に移される場合もある。しかし、日本側の関与は一旦これで終了される。

3. (本章の) 総括

地球の環境や水に関する世界規模の会議を振り返り、その協議内容や採択された宣言をレビューすると、そこには二つの底流があることが判る。その一つはストックホルムの「環境サミット（1972）」に始まり、「京都議定書（Kyoto Protocol, 1997）」に代表される“地球温暖化→地球規模の異常気象→大洪水・大旱魃、砂漠化、海面上昇”を主たるテーマとした地球規模の環境公害対策の流れである。そして、もう一つはマルデルプラタの「国連水会議（1977）」に始まり、WSSD や「世界水フォーラム」を通して協議されてきた“限りある地球上の淡水資源を、いかにして持続可能に開発し全ての人類と生命に供給するか”を主たるテーマとした、水資源開発と公正かつ安定した水供給対策の流れである。そして、これらの間に爆発的な人口増、貧困、都市化、食糧安保、そして「南北問題」といった社会的かつ政治的問題が共通のベースとして横たわっている。前者もきわめて重要かつ深刻な問題ではあるが、本紙では特に後者を取り上げ、今何が問題なのか？ それに対して国際社会は何を求められているのか？ を検証し、そして問題解決への鍵とそのための提言をまとめていくつもりである。

数々の世界会議の結果、あるいは国連を始めと国際機関の「水問題」に対する取り組みを総括すると、こと「水問題」に限って言えば、先進国が成さねばならないことは、ダブリン宣言（つまりはアジェンダ 21 の第 18 章）の思想に立ち、国連ミレニアム開発目標を達成するよう努力することである。ここに繰り返すと、ダブリン宣言は基本理念として：

- 1) 淡水は、有限なまた冒されやすい資源であり、生命を、開発を、そして環境を維持していくために極めて重要なものである、
- 2) 水資源の開発と管理とは、その全てのレベルにおいて、利用者・計画者・政策決定者の全てが関与する、参加型アプローチで成されるべきである、
- 3) 女性は、水の調達・管理・保護等に中心的な役割を果たす、そして
- 4) 水はその全ての用途の中に経済的価値を有し、経済財であると認識されるべきである、

という 4 項目を挙げている。また行動指針としては、1) 貧困と疾病の軽減、2) 自然災害の防止、3) 水資源の保全と再利用、4) 持続可能な都市開発、5) 農業生産と水供給、6) 水圏生態系の保護、7) 水紛争の解決、8) 実施可能な環境作り、9) 知識ベースの整備、及び 10) キャパシティ・ビルディング、を挙げている。先進諸国は、こうした思想・行動指針に沿って自国の水資源を開発・管理すると共に、発展途上国に対し、その適切は開発計画立案に協力

し、自助努力による実施を応援していく責任がある。さらには、水問題に関して先進国であるからこそできる開発努力を、今こそ行わねばならない。発展途上国に求められていることは、何といってもその異常な人口増加率を低減し、正常なレベルに戻すことであろう。そしてそのためには、MDGsに謳われているように、貧困と飢餓の撲滅、幼児死亡率・妊産婦死亡率の減少、HIV/エイズの蔓延阻止、そしてその他の疾病の蔓延阻止に向けて、自助努力のみならずあらゆる支援を受け入れて全力で取り組むことである。

主たる援助国の一員として、日本もその政府開発援助 (ODA) を行ってきている。その援助額は、長引く不況の影響で今や世界一の座はアメリカに譲ったものの、未だ世界第二位の援助国である。本紙では日本のODAを、あまり知られていない戦前の活動を含めて簡単にその歴史を紹介し、大綱に示されたODAの基本理念、「水問題」に係る日本の姿勢、そしてその仕組みとを紹介した。日本のODAはその目的を「国際社会の平和と発展に貢献し、これを通じて我が国の安全と繁栄の確保に資すること」とし、この目的を達成するための基本方針を以下のように定めている：

- イ) 開発途上国の自助努力支援、
- ロ) 「人間の安全保障」の視点、
- ハ) 公平性の確保、
- ニ) 我が国の経験と知見の活用、国際社会における協調と連携。

また、以上の目的及び基本方針に基づき、以下の4点：(1)貧困削減、(2)持続的成長、(3)地球規模の問題への取り組み、(4)平和の構築、を重点課題とした。重点地域はその立地条件からアジア重視、特にASEAN等の東アジア地区を最重点地域としているものの、近年水政学・地政学的観点から中東、東欧、及びサブサハラ・アフリカへの支援が増大している。

参考文献

- 1) 川崎良一 (2004) 21世紀の緊急課題“水問題”，その2：地球環境問題、そして水問題とは何か？ 四万十・流域学会誌，第3巻第2号，pp. 1
- 2) 川崎良一 (2004) 21世紀の緊急課題“水問題”，その1：20世紀の水と環境の略史，四万十・流域学会誌，第3巻第1号，pp. 29-32
- 3) 進藤雄介 (2000) 環境問題とは何か，時事通信社，pp. 6-10， & 河原一敏訳 人間環境宣言：
<http://list.room.ne.jp/~lawtext/1972Environment.html>
- 4) Declaration of the UN Conference on the Human Environment：
<http://www.unep.org/Documents/Default.Print.asp?DocumentID=97&ArticleID=1503>
- 5) 環境省 (2002) 環境白書第2節国連における活動，(3)：
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/honbun.php3?kid=153&serial=2802> 及び
Sustainable Water Management, Strategy Framework Document:
Chapter Four：<http://www.undp.org/seed/water/strategy/4.htm>
- 6) 松井三郎 (2002) 今なぜ地球環境なのか，コロナ社，pp. 102，及び
THE DUBLIN STATEMENT ON WATER AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT：
<http://www.wmo.ch/web/homs/documents/english/icwedece.html>
- 7) 進藤雄介 (2000) 環境問題とは何か，時事通信社，pp. 16-22，
Agenda 21, Press Summary UN Division for Sustainable Development：
<http://www.un.org/esa/sustdev/documents/docs.htm> 及び
「アジェンダ21」行動計画：
<http://www.erc.pref.fukui.jp/info/a21/1.html>
- 8) 川と水委員会 (2001) 世界水ビジョン，山海堂，pp. 31, 47，
World Water Council：<http://www.worldwatercouncil.org/> 及び
Global Water Partnership：<http://www.gwpforum.org/servlet/PSP/>
- 9) 世界水ビジョン 「活動について」：
<http://www.idi.or.jp/vision/www-01.htm> 及び
MARRAKECH DECLARATION Per Express：
<http://www.cmo.nl/pe/pe7/pe-772.html>
- 10) 高橋博之 (2003) 第3回世界水フォーラムについて，(財)地球産業文化研究所：<http://www.gispi.or.jp/newsletter/2003/pdf/0303-4-1.PDF> 及び
第2回世界水フォーラム開催される：
<http://www.idi.or.jp/vision/www2.htm>
- 11) 国連開発計画 (2001) ミレニアム開発目標 (MDGs)：
<http://www.undp.or.jp/mdg/> 及び
Millennium Development Goals OECD：
<http://www.oecd.org/dataoecd/33/61/1905879.pdf>
- 12) 国際淡水会議 (2001) 閣僚宣言 2001年ボン：
<http://www.lm.mesh.ne.jp/~apcc-ngo/water/02/bon-state.htm>
- 13) 外務省 持続可能な開発に関するヨハネスブルグ宣言：
<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/wssd/sengen.html>
- 14) 国連水アセスメント計画 人類のための水，生命のための水：
http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/ex_summary_jpn.pdf 及び
Water for People, Water for Life WWP：
<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556c.pdf>
- 15) 国連開発計画 (2001) ミレニアム開発目標 (MDGs)：
<http://www.undp.or.jp/mdg/> 及び
Millennium Development Goals OECD：
<http://www.oecd.org/dataoecd/33/61/1905879.pdf>
- 16) OECD 環境局 [著] (2001) OECD 世界環境白書 「Environmental Outlook」 2020年の展望，中央経済社。
- 17) 上田 悟 (2003) 水分野でのパートナーシップの課題と日本に期待するもの —ワシントンDCの視点—，国際開発ジャーナル2003年3月号寄稿，pp1
- 18) 世界銀行 (2003) 世界開発報告書 —変化し続ける世界における持続可能な開発—，ワシントンDC：
http://www.worldbank.or.jp/02event/01seminar/pdf_ss/wdr2003_j.pdf
- 19) ADB (2001) Water for All: The Water Policy of the Asian Development Bank 及び
About ADB's Water Policy - ADB.org：
http://www.adb.org/Water/policy_highlights.asp
- 20) 外務省 (2003) 政府開発援助 (ODA) 白書 2002年版の要旨：
http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/siryo/siryo_2/2002_2.html
- 21) 村上 雅博 (2003) 水をめぐると自然，喜田由紀子 [編]，有斐閣選書，第9章日本の政府開発援助と世界の水問題，pp300
- 22) 同上，pp301
- 23) 橋本光平 (2002) 現代用語の基礎知識 2002，援助戦略の変遷と現状，自由国民社，pp15
- 24) 村上 雅博 (2003) 水をめぐると自然，喜田由紀子 [編]，有斐閣選書，第9章日本の政府開発援助と世界の水問題，pp302
- 25) 同上，pp303
- 26) 同上，pp305
- 27) 同上，pp307
- 28) 外務省 (1992) 政府開発援助大綱：
http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/seisaku/seisaku_1/sei_1_1.html
- 29) 外務省 (2003) 政府開発援助大綱 (案)：
http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/seisaku/seisaku_1/t_mi_naoshi/taiko.html
- 30) 国際協力事業団 (2002) 水分野援助研究会報告書，途上国の水問題への対応，国際協力総合研修所

- 31) ユニセフクラブ(1997) ODA とは何か, 11 月祭研究発表:
http://www.jca.apc.org/unicefclub/research/97_oda/oda_1_1.ht
- 32) JICA (2001) JICA と無償資金協力:
<http://www.jica.go.jp/activities/jicaaid/0110.html>
- 33) JICA (2001) 無償資金協力はどのように実施しているのでしょうか?:
<http://www.jica.go.jp/activities/jicaaid/0121.html>

「ODA」とは、ODAの定義、ODAの種類、ODAの提供体制、ODAの効果、ODAの課題、ODAの将来展望について述べている。ODAは、ODAの定義、ODAの種類、ODAの提供体制、ODAの効果、ODAの課題、ODAの将来展望について述べている。ODAは、ODAの定義、ODAの種類、ODAの提供体制、ODAの効果、ODAの課題、ODAの将来展望について述べている。

(ODA) 開発途上国にODAを提供する日本は、ODAの提供体制、ODAの効果、ODAの課題、ODAの将来展望について述べている。ODAは、ODAの定義、ODAの種類、ODAの提供体制、ODAの効果、ODAの課題、ODAの将来展望について述べている。

- (1) 開発途上国のODAの提供体制
- (2) 開発途上国のODAの効果
- (3) 開発途上国のODAの課題
- (4) 開発途上国のODAの将来展望

ODAの提供体制、ODAの効果、ODAの課題、ODAの将来展望について述べている。ODAは、ODAの定義、ODAの種類、ODAの提供体制、ODAの効果、ODAの課題、ODAの将来展望について述べている。

1) 開発途上国のODAの提供体制

2) 開発途上国のODAの効果

3) 開発途上国のODAの課題

4) 開発途上国のODAの将来展望

5) 開発途上国のODAの提供体制

6) 開発途上国のODAの効果

7) 開発途上国のODAの課題

8) 開発途上国のODAの将来展望

9) 開発途上国のODAの提供体制

10) 開発途上国のODAの効果

11) 開発途上国のODAの課題

12) 開発途上国のODAの将来展望

13) 開発途上国のODAの提供体制

14) 開発途上国のODAの効果

15) 開発途上国のODAの課題

16) 開発途上国のODAの将来展望

17) 開発途上国のODAの提供体制

18) 開発途上国のODAの効果

19) 開発途上国のODAの課題

20) 開発途上国のODAの将来展望

21) 開発途上国のODAの提供体制

22) 開発途上国のODAの効果

23) 開発途上国のODAの課題

24) 開発途上国のODAの将来展望

25) 開発途上国のODAの提供体制

26) 開発途上国のODAの効果

27) 開発途上国のODAの課題

28) 開発途上国のODAの将来展望

29) 開発途上国のODAの提供体制

30) 開発途上国のODAの効果

31) 開発途上国のODAの課題

32) 開発途上国のODAの将来展望

33) 開発途上国のODAの提供体制

34) 開発途上国のODAの効果

35) 開発途上国のODAの課題

36) 開発途上国のODAの将来展望

37) 開発途上国のODAの提供体制

38) 開発途上国のODAの効果

39) 開発途上国のODAの課題

40) 開発途上国のODAの将来展望

41) 開発途上国のODAの提供体制

42) 開発途上国のODAの効果

43) 開発途上国のODAの課題

44) 開発途上国のODAの将来展望

45) 開発途上国のODAの提供体制

46) 開発途上国のODAの効果

47) 開発途上国のODAの課題

48) 開発途上国のODAの将来展望

49) 開発途上国のODAの提供体制

50) 開発途上国のODAの効果

51) 開発途上国のODAの課題

52) 開発途上国のODAの将来展望

53) 開発途上国のODAの提供体制

54) 開発途上国のODAの効果

55) 開発途上国のODAの課題

56) 開発途上国のODAの将来展望

57) 開発途上国のODAの提供体制

58) 開発途上国のODAの効果

59) 開発途上国のODAの課題

60) 開発途上国のODAの将来展望

61) 開発途上国のODAの提供体制

62) 開発途上国のODAの効果

63) 開発途上国のODAの課題

64) 開発途上国のODAの将来展望

65) 開発途上国のODAの提供体制

66) 開発途上国のODAの効果

67) 開発途上国のODAの課題

68) 開発途上国のODAの将来展望

69) 開発途上国のODAの提供体制

70) 開発途上国のODAの効果

71) 開発途上国のODAの課題

72) 開発途上国のODAの将来展望

73) 開発途上国のODAの提供体制

74) 開発途上国のODAの効果

75) 開発途上国のODAの課題

76) 開発途上国のODAの将来展望

77) 開発途上国のODAの提供体制

78) 開発途上国のODAの効果

79) 開発途上国のODAの課題

80) 開発途上国のODAの将来展望

81) 開発途上国のODAの提供体制

82) 開発途上国のODAの効果

83) 開発途上国のODAの課題

84) 開発途上国のODAの将来展望

85) 開発途上国のODAの提供体制

86) 開発途上国のODAの効果

87) 開発途上国のODAの課題

88) 開発途上国のODAの将来展望

89) 開発途上国のODAの提供体制

90) 開発途上国のODAの効果

91) 開発途上国のODAの課題

92) 開発途上国のODAの将来展望

93) 開発途上国のODAの提供体制

94) 開発途上国のODAの効果

95) 開発途上国のODAの課題

96) 開発途上国のODAの将来展望

97) 開発途上国のODAの提供体制

98) 開発途上国のODAの効果

99) 開発途上国のODAの課題

100) 開発途上国のODAの将来展望

お 知 ら せ

四万十・流域圏学会 第5回総会・学術研究発表会のお知らせ

四万十・流域圏学会第5回学術大会実行委員会
実行委員長 山崎慎一

平成17年5月28日(土)に高知工業高等専門学校(南国市)で開催される四万十・流域圏学会第5回総会・学術研究発表会、29日(日)のミジンコの観察とおもしろ話、多自然型川づくり見学会にむけて、発表者および参加者の募集を行っています。奮って御参加下さい。

1. プログラム

5月28日(土) 第5回総会・学術研究発表会:高知高専図書館1階視聴覚教室

- 8:30～ 受付
9:00～ 9:05 開会挨拶
9:05～11:00 特別セッション(テーマ:水と生物、以下は講演の予定者と内容)
福留脩文(西日本科学技術研究所所長):日本の近自然河川工法と生物の係わり
島谷幸宏(九州大学大学院教授):河川の流水と植物との係わり
花里孝幸(信州大学理学部教授):湖の水質と生態系の係わり
11:00～11:10 休憩
11:10～12:00 総会
12:00～13:00 昼食
13:00～14:00 ポスターセッション(小中高生の調査研究発表、一般講演):図書館ロビー
14:00～15:50 一般セッション
15:50～16:00 休憩
16:00～17:40 企画セッション(テーマ:多自然型川づくり、以下は講演の予定者と内容)
吉川勝秀((財)リバーフロント整備センター部長):自然共生流域圏
石川慎吾(高知大学理学部教授):物部川自然再生事業
国土交通省四国地方整備局、高知県
17:40～17:45 閉会挨拶
18:30～20:00 懇親会

5月29日(日) 9:00～12:00 ミジンコの観察とおもしろ話

県立牧野植物園(高知市五台山)に花里先生(予定)をお招きして、水中のミジンコのお話をさせて頂きます。花里先生の面白くて楽しいミジンコ話や、顕微鏡でみるミクロの世界を体験できます。なお、参加費は無料です(大人は入園料が必要です)。参加希望者は下記までお申し込みください。

担当:石川妙子 TEL/FAX 088-850-1023、E-mail:n-river@kcb-net.ne.jp

5月29日(日) 8:30～17:00 多自然型川づくりの見学

四万十川における多自然型川づくりの現場を日帰りで見学できる源流コースと下流コースの2ルートを選択できます。各コースともに現場を知っている会員が同行し説明します。参加希望者は下記までお申し込みください。

①各コースの見学内容

- ・源流から中流コース:北川(落差工の改良、低水水制と置き石、ロードキル対策、木の香る道づくり)

四万十川・窪川町周辺(砲弾型水制工、ハイドロバリヤー水制工)
 ・中流から下流コース: 四万十川・窪川町周辺(砲弾型水制工、ハイドロバリヤー水制工)
 四万十川・中村市周辺(隠れ水制、護岸水制、トンボ公園)

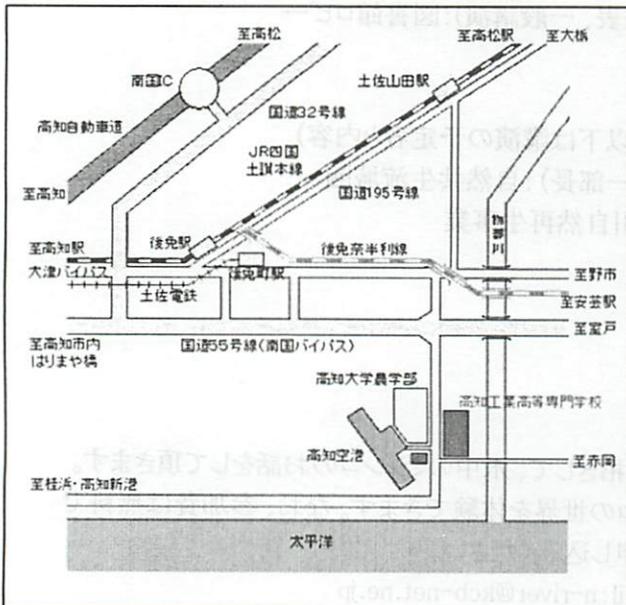
- ②定員 各コース 8名程度 高知県外の会員を優先し先着順とします。
 - ③費用 6~8千円程度(レンタカー代、高速道路料金、燃料代を参加者が負担)
 - ④その他 東京行き最終便に搭乗できるようにします。中村市で下車することも可能です。
- 担当: 福永泰久(西日本科学技術研究所)
 TEL 088-884-5151、FAX 088-884-5160、E-mail: fukunaga@ule.co.jp

2. 学術研究発表会の参加費他

- 1) 受付で大会参加登録をしてください。参加費は当日会場にて支払い、領収書をお受け取りください。
 一般・会員 3000円、学生(大学院生を含む) 1500円
- 2) 懇親会費は、一般・会員 5000円、学生(大学院生を含む) 2500円。会場へは送迎バスで移動。
- 3) 所属機関長宛の出張依頼書が必要な方は、返信封筒にご本人の宛先と 80円切手をのり付けして、四万十・流域圏学会事務局にご請求ください。

3. 総会・学術研究発表会場(高知高専)への交通手段

- 航空機利用 東京から1時間20分、大阪から35分、高知空港から高知高専まで徒歩10分
- JR利用 JR後免(ごめん)駅からタクシーで約10分
 JR高知駅前から空港連絡バスで高知大学農学部前下車(約40分)、高知高専まで徒歩3分
- 車利用 高知自動車道南国ICから高知高専まで20分



※昼食は高専内の学生食堂
 をご利用ください。



4. 総会・学術研究発表会に関するお問い合わせ

四万十・流域圏学会第5回総会・学術研究発表会 実行委員長 山崎慎一
〒783-8508 高知県南国市物部 200-1 高知工業高等専門学校 建設システム工学科
TEL/FAX088-864-5671、E-mail:syama@ce.kochi-ct.ac.jp

5. 学術研究発表会原稿の募集と提出について

第5回学術研究発表会(5月28日、高知高専)への講演申し込みを御希望の方は、下記の原稿執筆要領に従いまして、要旨集の原稿をご提出いただきますよう、お願い申し上げます。

記

- ① 期限 : 平成17年4月28日(木)必着
〈電子メールの添付ファイル(Microsoft WORD)での投稿を歓迎します〉
- ② 郵送先・電子メール宛先 :
四万十・流域圏学会事務局 高知工科大学社会システム工学科 村上研究室
〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮の口 185
TEL;0887-57-2418, FAX;0887-57-2420, E-mail;murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp
- ③ 原稿枚数 : A4版、2ページ(口頭発表・ポスター発表とも)
【注意】A4版で提出していただき、そのままの大ききでオフセット印刷をします。電子メールの添付ファイルでの原稿提出を歓迎します。ただし、ワード(Microsoft WORD)の添付ファイルで1.4MB以内の容量のファイルに限らせていただきますが、送付された添付ファイルを直接に開いてそのまま自動的にプリントアウトしたもの(事務局では一切の編集を加えません)を予稿集にオフセット印刷しますので、原稿提出に係わる全ての責任は筆者に属します。
- ④ 書式等 : 別紙の書式に従い、枠内にご入力頂き、その枠を消去した上でA4にしてから写真・図等を糊付けして郵送してください。
- ⑤ 発表方法 : PCプロジェクター(Windows)を準備しています。各自のノートパソコン、CDあるいはフラッシュメモリなどを持参の上、発表前の休憩時間を利用して作動確認を行って下さい。ただし、必ず予備にOHPフィルムの準備も忘れずにお願いします。
- ⑥ 発表時間 : 1題につき20分(発表10分、質疑・応答10分)以内です。発表者数によって多少の変更があり得ます。
- ⑦ 発表者 : 登壇者は四万十・流域圏学会の会員(発表申込と同時の入会受付も可)に限ります。事務上、プログラムに記載する連名者は筆者以外に3名を限度とします。

注) 内容やスケジュールから判断して口頭発表からポスターセッションに変更させていただくことがあります。変更がある場合は、後日事務局からポスター作成方法について連絡させていただきます。

四万十・流域圏学会 学術大会研究発表申込書（2005年）

- ・※印内は該当するものを○で囲んでください。
- ・但し、連名者で非会員の場合は正、学とも消してください。
- ・年齢は4月1日現在でご記入下さい。
- ・提出は1枚でけっこうです。控えは、コピーしてご自分でお持ち下さい。

題 目					
発 表 者 〔連名の場合 は登壇者の 氏名の前に ○をつける〕	勤 務 先	会員種別 (※)	会員番号 (今回は不要)	氏 名	年 齢
		正・学			
連 絡 先	連絡者氏名： 住 所：〒 TEL: () - FAX: () - E-mail:				
発表用機材 (○をつける)	(1) OHP (2) PCプロジェクター(Windows) (3)ポスター				
発表形式 (口頭/ポスター)	第1志望	第2志望	要望事項等 (具体的に記入してください。)		
発表要旨 (100字以内)					

以下の枠内は記入しないでください。

ジャンル	No.	会 場	発 表 時 間	備 考

→

講演要旨原稿の書き方
題名 (12ポイントB (ゴシック体、ボールド) センタリング)

○ 四万十太郎 (■■大学)、仁淀花子 (■研究所)、物部学 (株■■■■)
(10ポイント)

(10mmあける)

ここから本文 <<本文中の章、節の題目はゴシック体、本文は明朝体を利用して下さい>>

【注記】

- ・原稿の総ページ数は、A4版で2枚です。(本文中の活字サイズは全て10ポイントを使用)
- ・登壇者(講演者)に、○印をつけてください。
- ・図表は小さすぎると判読しにくくなります。ご注意ください。
- ・写真は、裏面に講演番号・氏名を記入し、所定の位置に糊付けして下さい。
- ・外枠は消去してください。
- ・原稿の裏面の中央に鉛筆で薄く発表者氏名を記入して下さい。
- ・本フォーマットから外れた原稿は、掲載できない場合があります。

●発表は原則として未発表のもので、一人一題(発表者)に限ります。

●任意のA4サイズの上質紙を用いて、上下左右のマージン(余白)設定は全て25mmを標準として下さい。

●講演要旨集は提出いただいた原稿をそのままオフセット印刷にしますので、原稿用紙は用意しておりません。

●投稿された原稿は返却しません。

マージン設定<<上下左右すべてを25mmの余白として下さい>>

A4版(2枚)<<全て白黒オフセット印刷です>>

平成17年4月28日(木)必着

ニジェールにおける高速嫌気性処理法（UASB）法と人工湿地を組み合わせた水質浄化法について

佐藤博信（高知工科大学大学院）、鈴木薫（(株)東京設計事務所）、○村上雅博（高知工科大学）

1. はじめに

先進国で利用されている典型的な技術を基に発展途上国に水処理技術を技術移転する場合、下記の4項目に留意するべきであると考えられる¹⁾。

- 低コストであること
- 維持管理が単純で省エネルギーであること
- 化学物質を使用しない（生物学的処理を基本とする）
- 現地で得られる資材・材料と適応可能なシンプルな技術を組み合わせること

上記の4つの留意事項は四万十コンセプトを構成しているものである。本研究では、現地の社会環境や自然特性と四万十コンセプトをうまく組み合わせた現地適性技術移転の一例として¹⁾、上向流式嫌気性汚泥ブランケット(UASB)法、散水濾床及び人工湿地（エコ・ポンド）を組み合わせた水質浄化システムに着目し²⁾、実際の発展途上国におけるパイロットプラント設置例をもとに³⁾、現地での適用性について、その一連の下水処理システムと下水処理能力に関して検討した結果について以下に述べる。

2. ニアメ市の衛生環境とパイロットプラント

ニアメ市からの排水及び下水には、有機物・無機物及び細菌等の汚染物質が含まれるが、大腸菌に代表される病原菌は、 $10^6/100\text{ml} \sim 10^7/100\text{ml}$ である。この排水は、未処理のままニジェール川に放流されている。また、市内の畑作地において野菜の生長に役立つことため、農業用水として生下水が広く使用されており、汚水に直接あるいは間接的に触れることにより、寄生虫伝染病や種々の水系疾患が、ニアメ市では蔓延している³⁾。これらの問題を回避するため、下水処理施設の建設が急務である。

ニジェール国ニアメ市で実施された国際協力事業団(JICA)による衛生環境改善計画調査の一環として行われたプロジェクトを、ニアメ方式パイロット下水処理システムと呼ぶ(Fig.1)。

パイロットプラントの建設及び運転管理の目的は、ニアメ市の長期的な衛生環境改善計画を実施するに当り、実際に小規模プラントを用いて実験的な処理能力を確認することにある。UASB方式を採用した理由は、以下の通りである。

- ・ 温度が高いほど処理効果が高くなる
- ・ 曝気を用いない為、少量の電気エネルギーで運転可能である
- ・ 維持管理が単純である
- ・ 小さな構造物である為、非常に経済的な建設が可能
- ・ 汚泥消化が期待できる
- ・ UASB槽内で、メタンガス(CH_4)が発生し、それを発電に利用することが可能である

しかし、下記のデメリットが存在する。

- ・ BOD除去率が70~80%程度である
- ・ 高温下での家庭下水への適用に限定される
- ・ 設計除去率に達するまで、多少時間がかかる
- ・ 窒素、リンの除去効果が低い



図-1 ニアメ市位置図

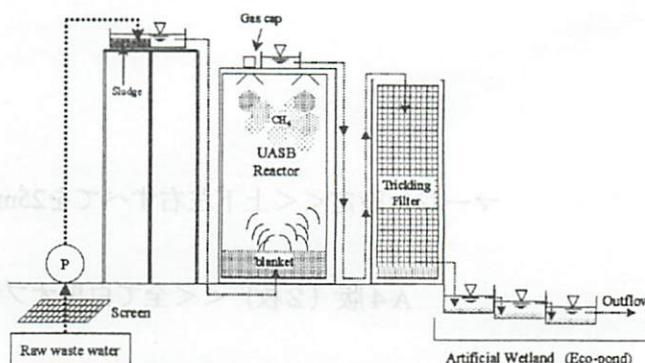


Fig.2 ニアメ方式パイロット下水処理システムの模式図

以上を踏まえ、ニアメ方式パイロット下水処理システムの概要を以下に述べる。

3. ニアメ方式パイロット下水処理システムの概要

第1段階として、生水を汚水ポンプにより、沈砂池に揚水する。この沈砂池は本処理プロセスで最上部に位置している。その後は、重力を利用し、UASB 反応槽、散水濾床及び人工湿地（エコ・ポンド）へ処理水を自然流下させることが出来る(Fig.2)。

このため、本プロセスで用いる電気エネルギーは最初の揚水ポンプのみであり、電気料金の大幅な節約につながる。UASB 反応槽での処理プロセスで発生したメタンガス(CH₄)は発電に利用され、処理場の照明等に利用される。

UASB 反応槽を経た処理水は、散水濾床にて濾過される。濾材は、本来、固形ゴミとして廃棄されるペットボトルに古スポンジを詰めたものを有効利用している。

最終的に、処理水が流入する人工湿地（エコ・ポンド）ではホテイアオイが栽培されている。ホテイアオイが成長する過程で窒素を吸収し、成長したホテイアオイは家畜（牛）の餌に循環利用している。

UASB 法、散水濾床及び人工湿地（エコ・ポンド）による BOD 除去率は、それぞれ 80%、83%、50%であり、BOD 値は 1,230mg・l⁻¹ から 20mg・l⁻¹ まで減少している(Fig.3)。UASB 法、散水濾床、人工湿地（エコ・ポンド）における TN 除去率は、それぞれ 37.4%、28.9%、12.3%である。しかし、PO₄ 値については変化は見られなかった(Fig.4)。

4. まとめ

乾燥地帯に位置するニアメ市で発生する下水は、未処理の尿尿を中心とするため、BOD 値が 1,230 mg・l⁻¹ と、あまりに高い。通常の活性汚泥法や UASB 法のみによる浄化方式では、国際環境標準値レベルの 20 mg・l⁻¹ まで BOD を除去することは困難である。処理システムがより単純で安価な UASB 法単独での下水処理プロセスには除去率の限界があるため、一定の環境基準を達成するためには追加処理が必要である。本研究では、UASB 法にニジェールの現地の材料（固形廃棄物や植物の循環再利用を含む）を用いてローコストな建設が可能となる散水濾床及び人工湿地（エコ・ポンド）を組み合わせるシステムを提案し、小規模な実証プラントにおいて超高濃度の下水排水の BOD 値を国際標準値の 20 mg・l⁻¹ まで低下させることが可能であることを実証した。

謝辞

本調査研究を実施するにあたり、国際協力事業団(JICA)、とくにニジェール JOCV 事務所の理解と熱い協力なしには実現不可能であった。さらに、長岡技術大学・原田秀樹教授には現地での指導に協力いただいている。ここに関係各位の理解と協力に対して感謝の意を述べさせていただきます。

参考文献

- 1) Sato, H. et al. (2002): Eco-Engineering Applications in Reclamation of Treated Wastewater and Constructed Wetland. *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management*: 823-830
- 2) Vymazal, J., (edited) et al. (1998) *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*, Backhuys Publishers, Leiden, 1-15
- 3) JICA (2001): ニジェール国ニアメ市衛生改善計画調査最終報告書(Main Report) 国際協力事業団

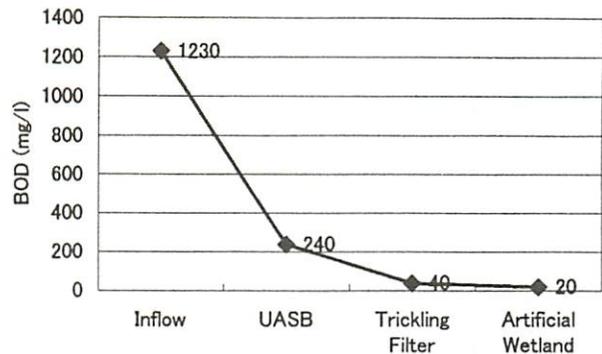


Fig. 3 ニアメ方式下水処理プロセスにおける BOD の変化

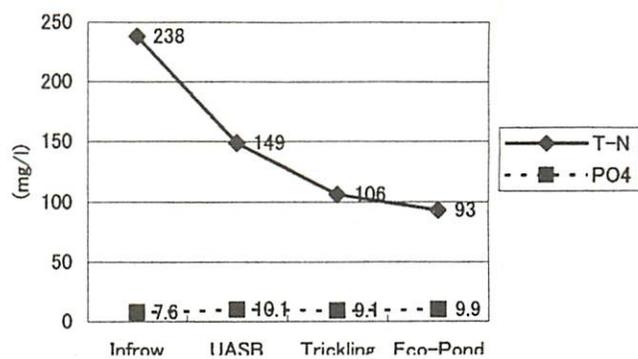


Fig. 4 ニアメ方式パイロット下水処理システムにおける T-N 及び PO₄ の変化

<添 付>

四万十・流域圏学会会則

四万十・流域圏学会役員体制

委員会

会員募集のご案内

入会申込書

「四万十・流域圏学会」投稿要領

「四万十・流域圏学会誌」執筆要領

四万十・流域圏学会会則

第1章 総則

(名称)

第1条 本会は、四万十・流域圏学会 (Japan Society of Shimanto Policy and Integrated River Basin Management) と称する。

(目的)

第2条 本会は、四万十川及び全国の流域圏を対象に、総合的・学際的調査研究及び学民産官連携による実践的取り組みを展開し、もって流域圏を単位とした自然重視の学際的な地域文化づくりの横断的な推進に資することを目的とする。

(事務局)

第3条 本会は、事務局を当分の間、高知工科大学社会システム工学科 村上研究室に置く。

(事業)

第4条 本会は、第2条の目的を達成するために次の事業を行う。

- (1) 講演会、研究発表会等の開催。
- (2) 学会誌、ニューズレター及びその他の刊行物の発行。
- (3) 四万十川流域における先駆モデル研究。
- (4) 四万十川流域と他流域との交流及び住民団体・研究者など多様な主体の交流を通じたネットワークづくり
- (5) 前各号のほか、本会の目的を達成するために必要な事業

第2章 会員に関する事項

(会員)

第5条 本会の会員は四万十・流域圏学に関心を持ち、本会の趣旨に賛同するものとし、正会員、学生会員、団体会員及び準会員をもって構成する。その他の会員については、理事会で決定する。

- (1) 正会員 会費年額 5,000円を納める者。
- (2) 学生会員 大学学部学生・大学院学生・研究生で会費年額 2,500円を納める者。
- (3) 賛助会員 企業・団体が賛助会費 (年額30,000円以上) を納める者。
- (4) 準会員 (ジュニア会員) 小学生・中学生・高校生。会費は徴収しない。

(会員の権利)

第6条 正会員は、以下の権利を有する。なお、理事会の承認によって、学生会員、賛助会員及び準会員にも権利を付与することができる。

- (1) 調査研究成果を学会誌その他の刊行物または研究発表会において発表すること。
- (2) 本会が主催する研究発表会、講演会及び総会等に参加すること。
- (3) 本会の定期刊行物の無料配布を受けること。

(会費)

第7条 会員は、第5条に定める年会費を前納しなければならない。

- 2 既納の会費は、いかなる理由があっても返還しない。

(会員の入会)

第8条 会員になろうとするものは、入会申込書を提出し、理事会の承認を受けなければならない。

(会員の退会)

第9条 退会しようとするものは、退会届を提出しなければならない。この場合、未納の会費があるときは、完納しなければならない。

- 2 理事会は、長期にわたって連絡のとれない会員を退会させることができる。

第3章 組織に関する事項

(役員)

第10条 本会には次の役員を置く。

- (1) 理事 25名以内、うち会長1名、副会長3名以内とする。
- (2) 監事 2名。

(役員を選任)

第11条 理事及び監事は正会員の互選により、総会で決定する。

- 2 会長は、理事のうちから互選する。
- 3 副会長は、理事のうちから会長が指名する。
- 4 理事及び監事は、相互に兼ねることができない。

(役員任期)

第12条 役員任期は2年とし、再任を妨げない。

- 2 役員は任期満了となっても、後任者への事務引継ぎを終了するまでその職務を行う。

第13条 役員に欠員の生じたときは、後任を選任する。ただし、理事会でその必要がないと認めるときは、この限りでない。

- 2 補選された者の任期は、前任者の残任期間とする。

(役員任務)

第14条 役員任務は次のとおりとする。

- (1) 会長は、会務を総括し、本会を代表する。
- (2) 副会長は、会長を補佐し、会長に事故あるときはその職務を代行する。
- (3) 理事は、理事会を構成し、本会の運営に関する重要事項を審議する。
- (4) 監事は、本会の会計を監査する。

(総会)

第15条 総会は正会員をもって構成し、本会の最高決議機関として会の意志と方針を決定する。

(総会開催)

第16条 通常総会は、毎年1回開催する。

第17条 臨時総会は次の場合に開催する。

- (1) 会長又は理事会が必要と認めるとき
- (2) 正会員の3分の1以上の者から請求があったとき

第18条 総会は、会長が招集し、議長となる。

第19条 総会の招集については、開催の2週間前までに、日時、場所及び会議に付議すべき事項を適当な方法によって会員に通知しなければならない。

第20条 総会は、正会員の5分の1以上の出席がなければ成立しない。ただし総会に出席できない正会員で、第19条によって通知された事項の議決を他の出席会員に委任した者及び書面によって議決に参加した者は出席者とみなす。

(総会議決)

第21条 総会の議決は出席者の過半数の同意による。可否同数のときは、議長の決するところによる。

第22条 総会では、次の事項を議決する。

- (1) 前年度の事業報告及び収支決算
- (2) 当該年度の事業計画及び予算案
- (3) その他理事会が必要と認めた事項

(理事会)

- 第23条 理事会は、必要に応じて会長が招集する。
- 2 会長は、理事の過半数から請求があったときは、理事会を招集しなければならない。
 - 3 理事会の議決は、出席者の過半数の同意をもって決定する。可否同数のときは、会長の決するところによる。
 - 4 本会の運営を円滑に行うため、理事の中から代表幹事を選任し、幹事会を開くことができる。

(委員会)

- 第24条 本会は、必要に応じ委員会を組織することができる。委員会の規約は、別に定める。
- 2 各委員会は、理事会に委員会の活動状況について適宜報告し、また、本会の運営上特に必要であるとして理事会から諮問された事項について、答申しなければならない。
 - 3 会長は、理事会の推薦を受け理事の中から委員長を任命する。
 - 4 会長は、理事会の推薦を受け正会員の中から若干名を委員に任命する。

(支部及び部会)

- 第25条 本会は、必要に応じ支部及び部会を置くことができる。
- 2 支部及び部会の設置及び組織については、別に定める。

第4章 会計に関する事項

(会計)

- 第26条 本会の経費は、会費・助成金及び寄附金その他の収入をもってあてる。
- 第27条 本会に、一般会計のほか必要に応じて特別会計または基金をおくことができる。
- 第28条 本会の会計年度は、5月1日から翌年4月30日までとする。

第5章 会則の変更及び解散

(会則の改正)

- 第29条 この会則は、総会出席者（委任状及び書面による参加を含む）の3分の2以上の同意を得なければ、改正できない。

(会の解散)

- 第30条 本会は、総会出席者（委任状及び書面による参加を含む）の3分の2以上の同意がなければ、解散することができない。

第6章 その他の事項

(雑則)

- 第31条 この会則に定めるもののほか、学会の運営に関し必要な事項は理事会の議決を経て別に定める。

附則

- 1 この会則は、平成13年2月8日から施行する。
- 2 本会の設立初年度の会計年度は、第28条の規定にかかわらず設立の日より平成14年4月30日までとする。

会費振込先： 郵便振替 01670-7-3731 四万十・流域圏学会 または、銀行口座 四国銀行下知支店 普通預金0387519四万十・流域圏学会 会計 福永泰久
お願い： 領収書は発行いたしませんので、振込みの控えを保存して下さい。

四万十・流域圏学会役員リスト

(平成16年5月)

会長

今井嘉彦	高知大学名誉教授	環境化学	県内
------	----------	------	----

副会長

宇多高明	(財)土木技術研究センター審議役	土木工学	県外
坂本正夫	高知県歴史民俗資料館館長	民俗学	県内
福留脩文	西日本科学技術研究所所長	河川工学	県内

監事

北條正司	高知大学理学部教授	環境化学	県内
邑岡和昭	高知県環境研究センター総合環境科長	環境科学	県内

理事

池田 誠	東洋大学国際地域学部教授	社会システム	県外
石川妙子	水生生物研究家	生物学	県内
井添健介	大旺建設(株)専務執行役員本店長	河川工学	県内
江口卓	高知大学人文学部教授	地理学	県内
島谷幸宏	九州大学工学部地球環境工学科教授	土木工学	県外
陶山正憲	静岡大学農学部教授	森林環境工学	県外
大年邦雄	高知大学農学部教授	防災工学	県内
橋尾直和	高知女子大学文化学部助教授	言語学・方言学	県内
浜田幸作	高知県立高知丸の内高校校長	社会学	県内
福田善乙	高知短期大学教授	経済学	県内
福永泰久	西日本科学技術研究所取締役	環境化学	県内
福元康文	高知大学農学部助教授	蔬菜園芸学	県内
松田誠祐	高知大学農学部教授	水文学・河川工学	県内
松本聰	秋田県立大学生物資源科学部教授	応用生命科学	県外
宮崎利博	高知県理事	河川・防災工学	県内
村上雅博	高知工科大学社会システム工学科教授	水資源・河川工学	県内
山崎慎一	高知工業高等専門学校建設システム工学科助教授	衛生工学	県内
山下正寿	(社)四万十楽舎楽長	社会学	県内
依光良三	高知大学農学部教授	森林政策・山村経済	県内

委員会

総務委員会	委員長 村上雅博 委員 各委員長+代表幹事 特任 理事会担当補佐役（高知県四万十川流域振興室）
企画・研究調整委員会	委員長 浜田幸作
財務委員会	委員長 福永泰久
編集出版委員会	委員長 橋尾直和
代表幹事	江口 卓（高知大学人文学部） 橋尾 直和（高知女子大学文化学部） 石川 妙子（水生生物研究家） 福元 康文（高知大学農学部） 村上 雅博（高知工科大学） 山崎 慎一（高知工業高等専門学校）

会員募集の御案内

四万十川及び全国の流域圏を対象に、総合的・学際的調査研究と学民産官連携による実践的な取り組みを展開する「四万十・流域圏学会」(Japan Society of Shimanto Concept and Integrated River Basin Management) 成13年2月8日に設立されました。

○学会の基本理念

- 1) 横断的・学際的な研究、現場に根ざした実践的な研究、住民と連携した取り組み（学民産官連携活動）を重視する。
- 2) 地域の学問から全国の横断的な流域圏のネットワークづくりと世界（国際交流・国際協力）へ向けての情報発信を行い、実際問題への適用をはかるために、学・官・民の研究者・技術者・地球市民との交流を促進する。
- 3) 次世代への展開（サステイナブル・シマント）と次世代をにやう人材（若手を含む）の育成を重視する。

宛先： Fax.0887-57-2420 E-mail: murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp

入会申込書

四万十・流域圏学会会長 様

平成 年 月 日

氏名：

住所：

連絡先住所（ 自宅 ・ 勤務先 ）

〒 _____

Tel: _____ Fax: _____

E-mail: _____

会員種別*

正会員 ・ 学生会員 ・ 賛助会員 ・ 準会員

勤務先又は職業

専門分野

生年月日

年 月 日

*会員種別については、該当するものを○で囲んで下さい。

備考覧

受付承認 平成 年 月 日

投稿規定

1. 投稿資格

本誌への投稿者は、本会会員（団体正会員に所属する者を含む）に限ります。ただし、共同執筆者には、会員以外の者を含むことができます。原則として、本会会員は自由に投稿することができます。また、編集出版委員が認めた場合には、会員以外からの特別寄稿を受け付けることがあります。投稿規定ならびに執筆要領をよくお読みの上投稿して下さい。なお、会費未納の場合は、掲載しないことがあります。

2. 原稿の種類

投稿原稿は、四万十川および流域圏関連分野の論文、研究ノート、総説、解説、調査報告、論説・評論、その他の7種とし、未発表のものに限ります。その内容は、次のとおりとします。ただし、編集出版委員が特に必要と認めた場合には、この限りではありません。

- (1) 論文：独創的な内容で、四万十川および流域圏に関する価値ある結論あるいは有意義な新事実や新技術を含むものです。それ自身完成度が高く独立したもので、まとまった結論が得られる段階まで研究が進展しているものを対象とします。特色のある観測・実験・調査結果やその一次的解析結果および統計・数値実験結果などを主とするものも含まれます。
- (2) 研究ノート：断片的あるいは萌芽的な研究ではありますが、独創的な内容で、四万十川および流域圏に関する価値ある結論あるいは有意義な新事実や新技術を含むものです。論文ほど研究として完成度を要求しませんが、それと同等の価値のある内容を含むものを対象とします。新しい研究方法などの紹介、予報的速報、既知の知見を確認する短報なども含まれます。
- (3) 総説：四万十川および流域圏に関する専門分野の既存の研究成果・現況・今日の問題点・将来の展望を解説したものです。学会に関する特定の主題について最近の研究成果を広い視点から整理、位置づけし、その研究の流れの理解に資するものです。
- (4) 解説：新しい研究、技法、工法プロジェクトなど、会員にとって有用、有益となる情報を分かりやすく提供するものです。
- (5) 調査報告：四万十川および流域圏に関するフィールド調査の報告で、四万十川および流域圏の現状把握やその改善に有用な価値ある情報・データを示したものです。論文やノートのように独創性を重視するのではなく、調査結果自体の有用性を重んじた内容のものを対象とします。
- (6) 論説・評論：学会関連の全般的総括的問題を対象としたもので、広く会員の参考となるものです。
- (7) その他の原稿：原稿の長さは、原則として、すべてを含む仕上がりページ数が以下のものであります。

和文の本文1ページは、原則として横書きで、25字×56行×2段組です。

論文	10ページ以内
研究ノート	5ページ以内
総説	10ページ以内
解説	10ページ以内
調査報告	10ページ以内
論説・評論	2ページ以内
その他の原稿	1ページ以内

ただし、やむを得ず規定ページを超過する場合は、執筆者の実費負担とします。また、編集出版委員の指定するものについては、この限りではありません。

3. 原稿の書き方

- (1) 原稿には、「完全版下原稿」と「テキストファイル付き原稿」の2種類があり、前者での提出を原則

とします。やむを得ない場合には、後者での提出も認めます。なお、後者における場合、版下作成作業のため発行までに時間がかかることがあります。「完全版下原稿」の場合は、原稿を出力見本に従って作成し、そのまま写真製版ができるような高品質のプリンタで出力したものを提出して下さい。「テキストファイル付き原稿」の場合は、原稿を所定の方法に従って作成し、MS-DOSテキストファイル形式で保存したフロッピーを添付して提出して下さい。提出原稿は、事故および校正に備えて必ず控えをとっておいて下さい。

(2) 原稿の書き方に関する諸注意は、「執筆要領」を参照して下さい。

4. 原稿の提出期限

原稿提出期限は、随時ですが、討議・コメント原稿の受付は、その対象論文掲載後6ヶ月以内とします。

5. 原稿の受け付け

(1) 原稿提出時には、原稿のコピー4部と併せて、原稿送付票、表紙、原稿概要を添付し、編集出版委員会事務局宛に送付して下さい。「原稿概要」は、題目、執筆者名、所属を記入したA4用紙に、200字以内で原稿の内容をまとめたものです。ただし、論文、研究ノート、総説、解説、調査報告、論説・評論以外は、提出の必要はありません。

(2) 編集出版委員会事務局に到着した日をもって、その原稿の受付日とします。

6. 原稿の査読

(1) 編集出版委員会は、受け付けた原稿の査読を編集出版委員・査読委員を含む複数の専門家に依頼します。原稿の内容に関して問題があると判断された場合、編集出版委員会はその旨を執筆者に伝え、修正を求めます。

(2) 修正を求められた原稿は、3ヶ月以内に修正原稿を再提出します。この期間に修正原稿の提出がなく、かつ学会事務局まで何の連絡もない場合には、撤回したものとみなします。

(3) 編集出版委員会は、査読結果に基づき掲載の可否を決定します。

7. 原稿の受理

編集出版委員会が掲載可と判断した日をもって、その原稿の受理日とします。なお、原稿は原則として受理順に掲載しますが、編集の都合上、前後することがあります。

8. 正原稿の提出

編集出版委員会より受理通知を受け取った後、執筆者はその指示に従って正原稿を編集出版委員会事務局に提出して下さい。

9. 校正

印刷時の執筆者校正は、「完全版下原稿」の場合は、原則として行いません。ただし、編集出版委員会が必要と判断した際には、執筆者校正を依頼する場合があります。「テキストファイル付き原稿」の場合は、印刷時の執筆者校正は1回とします。執筆者校正を行った場合、ゲラ刷りの受け取り後、指定期日までに必ず返送して下さい。返送が遅れた場合は、編集出版委員会の校正のみで校了にすることがあります。なお、この時点では印刷上の誤り以外の字句修正、あるいは原稿になかった字句の挿入は認めません。校正原稿は、一週間以内に正原稿とともに返送して下さい。定期刊行物を維持するため、一週間以内に行わなければ、執筆者校正はないものとします。抜刷りは行いません。

10. 著作権

四万十・流域圏学会誌に掲載された著作物・記事の著作権および著作権は、四万十・流域圏学会に帰属します。ただし、当該執筆者の著作権および著作権の行使を妨げるものではありません。疑義が生じた場合は、編集出版委員会で決定します。

11. 編集出版委員会事務局

〒780-8515 高知市永国寺町5-15

高知女子大学文化学部橋尾研究室

TEL・FAX：088-873-2823 E-mail：hashio@cc.kochi-wu-ac.jp

執筆要領

1. 投稿原稿の性質

四万十・流域圏学会誌は、国内的・国際的な四万十川および流域圏に関する多くの専門分野の研究の横断的・学際的な発表・情報伝達機関として、各分野間の交流、相互の理解を促進する機能を持つことを目指すものです。したがって、投稿原稿は、このような目的に沿ったものであり、会員が関心を持つようなテーマを扱っていて、会員相互間に建設的な討議を引き起こすようなものが望ましいです。

投稿原稿が少なくとも具備すべき条件は、原則的には、(1)誤りのないこと、(2)重複のないこと（未発表のもの）の2点です。

2. 一般的注意事項

①原稿の本文の用語は、日本語とします。

②原稿は、内容が独立して完結しているものとし、表題に「第〇報」的な通し番号は含めません。

③本文の区分けは、以下の記号を用い、大見出し、中見出し、小見出しなどを明瞭にしてください。

〔例〕2. 研究方法

2.1 分析方法

2.1.1 微生物学的方法

(1) 一般細菌数

(a) 培地

④区読点には“,”および“。”を用い、“、”や“.”などは用いません。

⑤本文中で使用する単位は、SI単位系にしたがって表記することを原則とします。ただし容量単位は、リットル(ℓ)あるいは立方メータ(m^3)を用いることを原則とし、特別に必要な場合を除き、立方デシメータ(d m^3)は使用しません。

⑥生物名は、和名の場合かなを用い、学名はイタリック体にします。

⑦図表は、タイトルや説明文を含めて英文とし、通し番号をつけて下さい。

通し番号のつけ方 図：Fig. 1, Fig. 2, ……

表：Table 1, Table 2, ……

⑧写真は図として取り扱います。したがって、扱いはすべて図に準じ、番号も図と同一の通し番号を使用します。なお、カラー写真のように印刷に多額の費用を要するものについては、その実績を著者負担とします。

⑨謝辞（必要な場合）、記号表（特に記号が多い場合に作成することが望ましい）は、本文末尾に付けて下さい。

⑩引用文献は、本文中では下記の例に従って明記し、原稿末尾に「参考・引用文献記載要領」に従い、一覧にしてください。

岡村(1995)は、……、……と述べている(渡辺1984)。

⑪直接文章を引用する場合は、「引用記載要領」に従って下さい。

⑫注は、「注記載要領」に従って下さい。

⑬その他、不明な点は出力見本を参照し、それに準じて原稿を作成して下さい。

3. 「完全版下原稿」に関する注意事項

①A4判の白紙に所定の書式に従って印刷して下さい。

②文字サイズ、フォント、マージン、スペースなどは、見本の指示に従って下さい。

③文字は2段組とし、1行25文字、1ページ56行を標準とします。

4. 「テキストファイル付き原稿」に関する注意事項

「テキストファイル付き原稿」の場合には、上記の一般的注意事項に加えて、以下の点にも留意して下さい。

参考・引用文献記載要領

【論文】

- ①著者名、掲載年、表題、雑誌名、巻、ページの順に記して下さい。掲載年は（ ）書きし、表題、雑誌名、巻、ページはそれぞれの間をコンマ（和文誌では全角、英文誌では半角を用いる）で区切り、最後はピリオド（体裁はコンマの場合と同じ）で終わって下さい。
- ②字体は、和文誌の場合には明朝体を、英文誌の場合にはタイムズをそれぞれ用います。学名および英文雑誌名にはイタリック体を用います。
- ③雑誌名については、和文誌の場合には省略せずに記し、英文誌の場合には省略名を用いてもかまいません。省略方法はそれぞれの雑誌の慣用に従って下さい。
- ④巻（Vo.1）についてはボールド体を用い、ページについては原則として通巻ページを記して下さい。号（No.）ごとのページごとの雑誌の場合には巻の次に号を（ ）内に記し、号ごとのページを記して下さい。巻数がなく号数のみの雑誌の場合には号のみを（ ）書きして下さい。

【記載例】

- 1) 村上雅博、馬淵泰、K.E.シータラム、浅枝隆（1995）都市環境と地理情報システム、GIS理論と応用、32、19-25.
- 2) Murakami, M., El-Hanbali, U., and Wolf, A. (1995) Techno-political Alternatives and Eco-political Decision Making in the Development of Dead Sea and Jordan Rift Valley Beyond the Peace, *Water International*, 20-4, 188-196.

【単行本】

- ⑤著者（编者）名、発行年、書名、ページ、発行所、発行場所（都市名）の順に記す。発行年は（ ）書きし、書名、ページ、発行所、発行場所それぞれの間をコンマ（和文誌では全角、英文誌では半角を用いる）で区切り、最後はピリオド（体裁はコンマの場合と同じ）で終わって下さい。字体については「論文」の場合に準じます。
- ⑥書籍の一部の章などを参考文献とする場合には、章などの著者名、発行年、章などの表題、書名（和文書籍「」書き、英文書籍in「」書き）、编者名（和英文書籍ともに“（）”書き）、ページ、発行所、発行場所の順とします。
- ⑦ページの表記は、1冊全ての場合には“○○pp.”、部分の場合には“pp.○-○”の表現を用います。

【掲載例】

- 3) Murakami, M., (1995) *Managing water for peace in the Middle East: alternative strategies*, 309pp., United Nations University Press, Tokyo-New York-Paris.
- 4) 福嶋義宏、村上雅博（1995）水に係わる国際紛争と水環境問題の光と影：カスピ海、アラル海、死海と21世紀の中央アジア／ユーラシア、233pp., 信山社
- 5) Murakami, M., (1997) *Alternative strategies in the inter-state regional development of the Jordan Valley*, in “Central Eurasian Water Crisis-Caspian, Aral, and Dead Sea”, pp154-180, United Nations University Press.
- ⑧その他、不明な点は「完全版下原稿」の見本を参照して下さい。

- ①本文は、ワープロを使用してA4判の白紙にプリンタで印字して下さい。上ツキ、下ツキ等が不可能なシステムの場合、赤ボールペンでその旨を明記して下さい。数式、記号等は特にその大きさ、位置などが明瞭になるよう十分注意を払って下さい。
- ②原稿の長さは原則として、表題、著者名、英文要旨および図表を含めて本規定の3に記載されたページ以内とします。但し、刷り上がり1ページは、1ページ目が約2,000字、以降は約2,800字です。A4判白紙に1ページにつき25字×28行(=700字)で上下、左右マージン35mmの枠内いっばいに収まるように印字出力して下さい。
- ③図(写真を含む)および表は、1枚ごとに通し番号をつけ、説明文および題名は各紙にまとめて英文でタイプします。図表など本文のあとに一括して添付し、その挿入箇所は本文の原稿欄外にそれぞれ図表番号で明記して下さい。
- ④図面は、A4判のトレース用紙または白紙を使用し、1枚に1図ずつトレース、レタリングするか、あるいはコンピュータを用いての作図の場合、高品質のプリンタで出力したものとします。各図の右下すみに図番号、著者名、縮尺を記入します。図はワクだけでなく、縦軸の説明、数字も含めて原則として片段(幅79mm)に印刷できるような縮尺を推定します。79mmを超える場合でも幅170mm(本誌1ページ分の左右幅)を超えることはできません。縮尺を念頭において記号と文字の大きさを考慮すること。なお、図が不明瞭な場合、図の全面的な書き直しを指示することがあります。
- ⑤表は、A4判の用紙を使用し、1枚に1表ずつ作成して下さい。原則として原表をそのまま使用するので、片段(幅79mm)または両段(幅170mm)に印刷できるよう、文字の大きさ、間隔を考えて作成して下さい。
- ⑥参考・引用文献の記載方法は、「参考・引用文献記載要領」に従った上で「完全版下原稿」の見本の書き方に準じます。

<論 文>

小規模河川の流量観測におけるドップラー式超音波流速センサーの簡易適用法

吉田正則* 村上敏文*

A Simple Application of a Velocity Sensor based on the Doppler Effect of Ultrasonic Sound Waves for Measurement of Discharge from Small-scale River

Masanori YOSHIDA* and Toshifumi MURAKAMI*

* National Agricultural Research Center for Western Region, 2575 Ikanochou, Zentsuji City, Kagawa 765-0053, Japan

Abstract

A hydrometry of small-scale river using a velocity sensor based on the Doppler effect of ultrasonic sound waves was discussed. Cross-sectionally averaged stream velocity was estimated from velocity measured by the sensor. Then, discharge data including storm runoff were obtained safely and accurately, by the way of multiplying the cross-sectionally averaged stream velocity by cross-sectional area of flow estimated from water level.

In addition, the hydrometry using the sensor was revealed to have advantages as follows:

- 1) settlement of the sensor in a river is authorized easily,
- 2) cost spent on equipment and the settlement is low,
- 3) frequent and automatic measurement is available.

From above results, the hydrometry using the sensor is concluded to be worth utilizing for a long-term monitoring system to evaluate discharge and pollution load from small-scale river located on agricultural watershed in hilly and mountainous region.

Key words : ultrasonic sound wave, the Doppler effect, agricultural watershed, stream velocity, storm runoff

1. はじめに

河川流量の実測データの取得は、農業集水域から発生する環境汚濁負荷量などを算定する際に欠かせない要素となっている^{1,2)}。しかし、流量せき法³⁾や流速計による手計測1点法⁴⁾など従来からの方法を用いた場合、高額の工事経費や河川管理者からの設置許可が必要なこと(前者)、あるいは観測者の現地不在によるデータの断片性や観測者が洪水に巻き込まれる危険性があること(後者)などの理由から、連続的な流量データを任意河川で簡易に得ることは必ずしも容易ではなかった。このことは、河川管理者等による定期観測体制を持たない川幅10m程度の小規模河川(中山間農業集水域に多い)においてとりわけ大きな課題であったように思われる。

以上のことから、本センサーがもつ特質を活かすことにより、従来法が抱える問題点のいくつかを克服できる可能性が考えられた。そこで本研究では、自動採水装置などの一體的運用が可能で、入手および取り扱いが容易な上記センサーを例にとり、現地河川への設置方法や流量観測法、得られたデータの特徴とその

処理法などについて検討を行ったので報告する。

2. 観測地点の概要と調査方法

2.1 観測地点の概要

今回観測を行ったのは、高知県四万十川流域内の農業集水域(集水面積814ha, 1993~1996年の平均年間降水量2874mm)を流れるY川の末端部である。その河道幅は11m, 河床最深部から川岸までの高さは左岸, 右岸とも3mである。観測地点の選定は、流路が上・下流側とも100m程度にわたって直線的であること, 大きな岩礫による狭窄や屈曲が存在しないこと, 河床勾配の急激な変化が認められないことなどを条件に行った。流れの特徴としては、右岸側に幅約2mの砂礫堆があるため流心が河道中央よりやや左岸側に位置すること(平水時)や、観測地点の下流約100m地点で合流するH川の水位上昇の影響をうけて、Y川の水はけがやや滞る傾向がみられること(洪水時)などがある。なお本報では、豪雨による流量の増加が見込まれる2000年5月から同年10月にかけての6ヶ月間を中心にデータの整理を行った。

2.2 河道横断面形状の測量

* 近畿中国四国農業研究センター傾斜地基盤部 〒765-0053 香川県普通寺市生野町 2575

左マージン 17mm
下辺マージン 23mm

上下マージン 23mm
左右マージン 17mm

それぞれの区分 i (i は区分点番号を示す) の幅 d_i , その中点の水深 h_i , および h_i 測線上の深さ方向平均流速点の流速 V_p^i (下付き添字 p は手計測の意) を測定した。また、このときの流水横断面積 A_p と断面平均流速 V_p^m (流水横断面内流速分布の平均値, 上付き添字 m は断面平均の意) は、次式により求めた。

$$A_p = \sum_{i=1}^n d_i h_i \quad (1)$$

$$V_p^m = \frac{1}{A_p} \sum_{i=1}^n V_p^i d_i h_i \quad (2)$$

Fig. 4 は、手計測法による 10 回の観測のうち最大の 10 回の V_p^i の横断面分布をみると (Fig. 5), V_p^i の最大値が、6 月 6 日を除くすべての日時でセンサー設置位置 (水平距離 9m) を挟む ± 1 m の範囲内に収まっていることがわかる。これらことから、河床最深部を別途に定めたセンサー設置位置が、 V_p^i の測定位置として妥当なものであったことが確認できる。

このように本観測地点では、河床最深部と深さ方向平均流速の最大位置がほぼ一致していたため、センサーの位置決めは容易であったが、通常は両者が一致しないことが多いと思われる。

そのようなときには、河床最深部と深さ方向平均流速の最大位置ができるだけ近い場所を選んだ上で、河床最深部を優先してセンサーを設置すべきと考える。その理由は、センサーが最大流速位置から多少ずれても V_p と V_p^m の関係把握はある程度可能と考えられるのに対し (後述), センサーが河床最深部からはずれてしまうと、低水時の H_i 測定が不可能になるからである。

3.3 センサー法による水位、流水横断面積、流速、および流量の測定結果

Fig. 6 (a), (b), (c) に、水位、流水横断面積、センサー設置位置流速のそれぞれに関する手計測法全 10 回の測定値と、その手計測とほぼ同時に観測されたセンサー法測定値 (流水横断面積は推定値) との比較結果を示す。いずれの図も、セ

図表は上段か下段につける

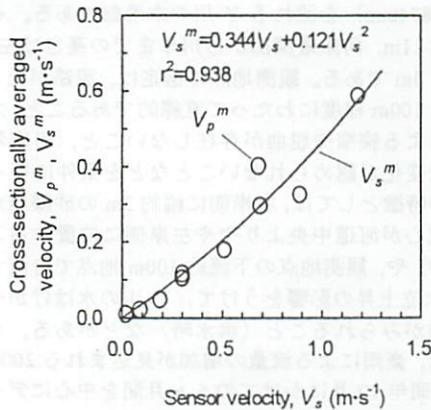


Fig. 7 Relationship between sensor velocity and cross-sectionally averaged velocity derived from manual measurement (O), and regression curve of cross-sectionally averaged velocity as a function of the sensor velocity (-)

タイムズボールド 12級, 8pt タイムズ

5. おわりに

以上、ドップラー式超音波流速センサーによる河川流量測定法の概要を、現地河川への適用事例をもとに述べた。数百 ha 規模の集水面積をもつ川幅 10m 程度の小規模河川を考えた場合、センサー法を用いれば、現地への設置手続きが容易になり、設備経費が安く済むうえ (今回使用した AVM750 型の場合、一式約 90 万円)、従来法では困難なことが多かった洪水時観測が安全・確実に行えるようになる。さらに今後は、センサーをつなぐチェーンの張り方を変えてゴミの付着を防いだり、流水の横断面方向に複数のセンサーを配置することなどにより、欠測が少なく、精度の高い流量モニタリングが可能になると予想される。これらのことは、小規模河川が多く分布する農業集水域において、汚濁負荷量の発生メカニズムやその変動特性などを把握するうえで大きな威力を発揮することになるだろう。今後は、本報で紹介したセンサー法が河川の水質管理や流域環境保全などの方面で広く活用されることを期待し、センサー法の精度向上や運用方法の改善に向け検討を進めていく予定である。

謝辞 ← ゴチック 13 級, 9pt

本研究を実施するにあたり、ご指導をいただいた中央農業総合研究センターの藤原伸介氏、森林総合研究所の吉永秀一郎氏ならびに関係各位、現地調査でご支援をいただいた高知県土木事務所と自治体関係の皆様、畜産草地研究所の山本 博氏、(株)日科機バイオスの竹田敏之氏、(株)日進機械の高橋好弘氏に深く感謝の意を表します。なお本研究は、環境省公害防止研究の一環として行われたことを付記する。

(原稿受付 200?年??月??日)

(原稿受理 200?年??月??日)

参考・引用文献 ← ゴチック 11 級, 7.5pt

- 1) 黒田久雄 (1997) 湖沼氾濫農業地区からの $\text{NO}_3\text{-N}$ 日流出負荷量の検討—流出負荷予測タンクモデルに関する研究 (II)—, 農土論集, 189, 51-58. ← 明朝 11 級, 7.5pt
- 2) 中曾根英雄, 黒田久雄, 茂木真司 (1997) 水田灌漑がなされている小集水域の L-Q 式の問題点と期別区分による改善, 農土論集, 190, 71-76. ← Vol. ほボールド
- 3) 石原藤次郎, 森 忠次 (1965) 新版測量学応用編, pp.251-310, 丸善, 東京.
- 4) 高瀬信忠 (1978) 河川水文学, pp.61-67, 森北, 東京.
- 5) 山口高志, 新里邦生 (1994) 電波流速計による洪水流量観測, 土木学会論文集, 497, II-28, 41-50.
- 6) 山口高志, 佐藤健次, 新里邦生, 石井敏哉 (1990) 電波流速計を用いた洪水流量観測システムに関する調査, 河川情報研究所報告, 4, 別冊 2, 1-75.
- 7) 阿保勝之, 杜多 哲, 高柳和史, 藤原建紀 (1999) ADCP を用いた五ヶ所湾の内部潮流観測, 海岸工学論文集, 46, 401-405.
- 8) 多田光男, 須佐美智嗣, 藤原建紀, 秋山秀樹 (1996) ADCP による豊後水道の潮流の流動構造の観測, 弓削商船高等専門学校紀要, 18, 15-20.
- 9) 米谷栄二, 山田善一 (1962) 新版測量学一般編, pp.320-323, 丸善, 東京.
- 10) 土木学会編 (1999) 土木用語大辞典, pp.1106, 技報堂, 東京.
- 11) 丸井信雄 (1966) 河川水理学, 水工学便覧, pp.263, 森北, 東京.

上下マージン 23mm
左右マージン 17mm

引用記載要領

引用は「 」によって示すこととしますが，論文では150字，研究ノート，調査報告，総説，論説・評論では90字以上にわたる場合には，1マス分下げて引用文を記して下さい。引用の最後に（ ）をつけ，著者の姓，出版年（西暦に限る），コロン，ページ数を次の例にならって記入します。

例 真田は「・・・・」と述べている（真田1985：30）。

注の形式で引用文献を記すこともできますが，そのようにはせず，この例のように引用文の最後に，（ ）で囲んで記して，本文中に割り込ませて下さい。完全な引用とならずに，抄録のかたちをとる場合には，次のようにします。

例 真田は，・・・・と述べている（真田1995：45-55）。

注記載要領

注はアラビア数字を用い，原稿用紙では本文のマスを用いず，行間に) を記入して下さい。ワープロ書きでは，上付き文字を用います。また，必ず句読点の前に置いて下さい。

例 中本の意図を見るためには¹⁾，・・・・

注の書式は，次のように統一して下さい。

例 1) □□□□□□□□□□□□□□・・・・
□□□□□。

2) 小泉(1998：20-35)では，□□□□・・・・
□□□□□。

「四万十・流域圏学会誌」原稿送付票（新原稿、第 回修正原稿）

		* 受付日 平成 年 月 日		* 受付 No.				
表 題								
著 者 名	ふりがな氏名	所 属	生 年 月 日	会 員	非 会 員			
連 絡 先 (会員に限る)	住所 〒 所属 氏名 ☎ FAX. E-mail							
原 稿 種 別	<input type="checkbox"/> 論文 <input type="checkbox"/> 研究ノート <input type="checkbox"/> 総説 <input type="checkbox"/> 解説 <input type="checkbox"/> 調査報告 <input type="checkbox"/> 論説・評論							
原 稿 枚 数	本文：	枚	図：	枚	表：	枚	* 予定ページ：	ページ
* 受 理 日	平成 年 月 日	* 掲載号	Vol. No.	* 通知日	* 原稿受取日			

注：*印の欄は記入しないでください。著者複数の場合は、主たる著者に○印を付してください。会員・非会員のいずれかに○を付して下さい。

表紙

表題	(和文)
	(英文)

著者名	(和文)
	(英文)

所在地 * ** * ** * は、著者 名に対応 させて下 さい。	(和文*)
	(英文*)
	(和文**)
	(英文**)
	(和文****)
	(英文****)

原 稿 概 要

受付 No. _____

表 題 (和 文)	
同 (英 文)	
著 者 名 (和 文)	
同 (英 文)	
所 属	

(400字以内、切り貼り可)

編集後記

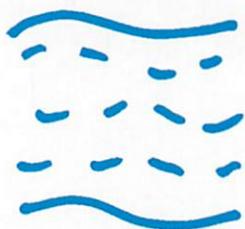
今号は、論文2点と解説3点のご投稿をいただきました。

論文の「緑のダムと青の革命」では、流域圏の森と川を巡る諸問題について、たとえば、「森林の成長は樹木からの蒸発散量を増加させ、渇水時には河川への流出量をむしろ減少させるかどうか」などの疑問点について考察し、科学的調査の結果は、そのイメージとは異なっていることをデータによって示されました。さらに、「流域圏革命」と称して、四万十・流域圏学会のみならず、球磨川流域圏学会の設立の可能性を示唆されております。次の、「多摩中央公園の熱環境特性とその環境経済性」では、都市緑地のクールアイランド効果を後世に引き継ぐために必要な管理運営コストが環境的な価値と比較して妥当性を持つかどうかを調査結果によって示されました。

解説の「WATER RESOURCES ASSESSMENT OF PAKISTAN : PRESENT AND FUTURE」では、パキスタンにおいては、雨水利用や水質改善、住民への啓発活動と水資源政策の実施を含めた水資源開発管理戦略が求められていることを示されました。次の「21世紀の緊急問題“水問題”その2：地球環境問題、そして水問題とは何か？」さらに「その3：水問題に係わる世界の動きと今世界が求められているもの」では、地球規模の「水問題」について、20世紀後半に行われた、急激かつ無秩序な水資源開発の「つけ」が回ってきたと警鐘を鳴らされました。

いずれも、「開発」・「環境」・「人」・「エネルギー」の関連性をあらゆる角度から取り上げ考察されたものです。巻頭言にも書きましたが、今こそ先人の知恵に学びつつ、われわれ人類が選択すべき方向性を地球規模・地域規模で探っていく必要性を感じました。

(橋尾直和)



We Love "SHIMANTO"



2004.12

■ 発行 四万十・流域圏学会
Japan Society of Shimanto
Policy and Integrated River
Basin Management
URL:<http://www.lab.kochi-tech.ac.jp/shimanto/>

■ 事務局 高知工科大学 社会システム工学科 村上研究室
〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮の口185
TEL:0887-57-2418 FAX:0887-57-2420
E-mail:murakami.masahiro@kochi-tech.ac.jp
